

La resistencia al corte y la reacción de adherencia en las tierras y los ensayos de arados

POR EL ING. AGR. TEOFILO V. BARAÑAO

El arado, como todas las máquinas, transforma la energía motriz recibida en trabajo útil o *trabajo agrícola*: los ensayos permiten valorar estas dos formas de energía y el cociente dará el rendimiento mecánico; valor primordial para juzgar la labor efectuada por la máquina y su eficiencia.

Este rendimiento tiene un valor práctico por dar a conocer, con una noción exacta, la cantidad de energía consumida en el trabajo agrícola, y, permite además, la comparación con el rendimiento de los distintos tipos de arados entre sí y con los rendimientos de las otras máquinas utilizadas en el cultivo hasta llegar a la cosecha del producto.

Si hiciéramos un análisis del trabajo total absorbido en las faenas agrícolas, desde la roturación hasta la cosecha, veríamos que aquella tiene una proporción tan elevada que supera holgadamente la suma de todos los trabajos desde las labores complementarias hasta las de recolección.

Se comprenderá fácilmente, que el conocimiento, en los distintos casos, del rendimiento de un arado, juega un papel tan importante en la economía, que cualquier factor que pueda afectar tal rendimiento, se traducirá en una pérdida de energía o trabajo utilizable, cobrando mayor interés por tratarse de un aumento del denominador común: kilográmetro, especialmente llamado *kilográmetro de trabajo agrícola* para diferenciarlo de la misma unidad industrial y recordar la parecido con que debe ser empleado.

La energía recibida como esfuerzo de tracción, por la unidad de longitud, será el trabajo motor; la energía que se utiliza en la operación de labranza, será el trabajo útil.

Empíricamente se sabe que al esfuerzo de tracción se opone un esfuerzo resultante de una suma de esfuerzos elementales, complejos y de dificultosa determinación. Cada experimentador ha interpretado en forma distinta y personal, el análisis del trabajo resistente. Así, mientras unos lo determinan en la dinámica del arado, en el momento y posición de trabajo, otros lo estudian en el trabajo mismo una vez realizado. Hay autores que determinan *a priori* el trabajo necesario, con un estudio de las propiedades físico-mecánicas del substratum, en el cual el proceso físico-químico-biológico altera continuamente estas propiedades, dificultando la obtención de constantes que tengan un valor más o menos duradero.

Creyendo lo más racional una división del trabajo útil en trabajos elementales, con los cuales se logra realizar la labor de labranza, tales como: corte vertical, corte horizontal y separación e inclinación de la banda de tierra, admitimos que tenga la mayor importancia hallar las constantes para cada uno de esos esfuerzos y para cada estado distinto de la tierra. Todos los otros esfuerzos, como el absorbido en el transporte de la máquina misma, deben considerarse, a los efectos del rendimiento, y para obtener resultados comparables, como resistencias pasivas.

La determinación de ambos esfuerzos de corte y la resistencia opuesta por la adherencia de la tierra a los instrumentos de labranza, es lo que propongo, con los métodos y dispositivos de medida que a continuación se detallan.

EL RENDIMIENTO. — *La expresión general.* — La fórmula que da el rendimiento de un arado es:

$$R = \frac{T \cdot u}{F \cdot L},$$

donde $T \cdot u$ es el trabajo útil; F , esfuerzo medio de tracción y reducido a la proyección horizontal; L , la longitud del surco. Por lo visto, el denominador de la expresión es fácil determinar; la dificultad está en el cálculo del trabajo útil.

Es un hecho conocido por los prácticos, que la misma tierra tiene una serie gradual de estados distintos en la resistencia que opone a la labranza. Las variaciones del estado físico, se dice, responden al

tenor de humedad; a la capacidad para el aire; al grado de apelmazamiento producido por el pisoteo; a la cantidad de vegetación con sus raíces más o menos resistentes, y a otras causas.

Es común expresar con los términos *tenacidad*, *cohesión* y *adherencia* el grado de resistencia de la tierra, pero los métodos que se emplean para la valoración, tratan el substratum como una sustancia inerte; los datos tendrán importancia en las construcciones pero no en la labranza.

Es necesario, pues, organizar el ensayo para obtener contemporáneamente el valor del numerador y del denominador y las constantes del primero se determinarán *in situ*.

LAS PALAS DINAMOMÉTRICAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD. — El experimentador francés Adrián de Gasparin, ha usado en sus trabajos de clasificación de las tierras según su dureza, una pala dinamométrica que se deja caer desde una altura de un metro y se mide la penetración. Este instrumento mide la tenacidad y adherencia en una sola determinación y desde la superficie del suelo hasta la profundidad alcanzada en una caída, variando de uno a cinco centímetros. Si se quiere hallar la resistencia a una profundidad mayor, es necesario repetir la operación a sucesivas profundidades hasta llegar a ella y librando, en cada golpe, de una cantidad de tierra igual a la capa cortada en la caída anterior.

Este inconveniente ha sido salvado ingeniosamente en la modificación introducida por el profesor Conti. Difiere de la anterior en que la fuerza viva de la pala, se reemplaza por la de un pilón de forma anular que le permite deslizarse sin frotamiento a lo largo del mango de la pala que le sirve de guía. La lámina es de acero de forma rectangular, con 10 cm. de base y 20 cm. de altura, formando un conjunto rígido con el mango, y de un peso dado p . El recorrido del pilón es de 1 m. Complementa el aparato, una regla graduada, que apoya sobre el suelo y mide el grado de penetración.

Teoría (fig. 1). — Habiendo sido reemplazada la energía de la fuerza viva de la pala al caer, por la de un cuerpo independiente: el pilón P , y siendo en la primera dicha fuerza, proporcional al peso de la pala y a la altura de caída, en la segunda, el cuerpo del pilón de masa M , produce una análoga energía y proporcional a los mis-

mos factores; pero, antes de llegar al suelo, choca con otro cuerpo de masa M' , que permanece en reposo y es el intermediario entre el suelo y aquél: la lámina que produce la hendedura. Este choque

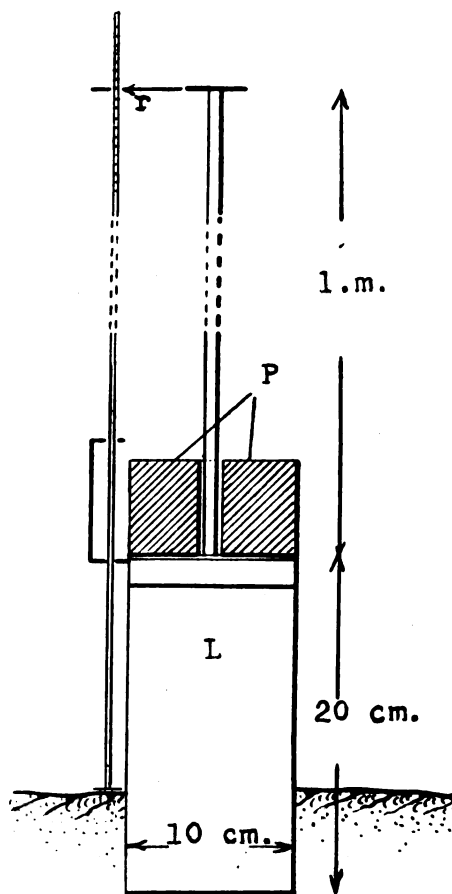


FIG. 1.

resta parte de la energía actual de la caída. Si llamamos v la velocidad del pilón P , después del recorrido de 1 m., según la fórmula:

$$v = \sqrt{2g \cdot h}$$

La velocidad del sistema después del choque, será:

$$V = \frac{M \cdot v}{M + M'} \quad [1]$$

Fórmula que corresponde al caso particular del choque en que uno de los cuerpos está en reposo; luego, la velocidad es cero y el segundo sumando del numerador se anula en la fórmula fundamental del choque:

$$V = \frac{M \cdot v + M' \cdot v'}{M + M'}$$

Obteniendo la velocidad del sistema, es fácil calcular la energía cinética por la siguiente fórmula:

$$\text{Ec.} = \frac{1}{2} (M + M') V^2 \quad [2]$$

Siendo constantes los pesos de P y de L , sólo variaría el resultado de la fórmula [1] y por consiguiente de la [2], de un punto a otro de la Tierra y en cantidad despreciable por lo insignificante, tendremos, como resultado final, la constante K para cada instrumento. Es fácil dar a esta constante un valor cómodo, tal como 5, 10 ó 20, para simplificar el cálculo, haciendo variar el peso del pilón con la adición de pesos suplementarios, pues la lámina tendrá el peso que resulte de la construcción, y la altura h , conviene mantenerla de un metro.

Modo de operar. — Supongamos que haya que determinar la resistencia a la labranza de una tierra, a la profundidad de 12 cm. Apoyando el filo de la lámina sobre el suelo, se deja caer el pilón y la energía de esta caída producirá una hendidura, que se mide en la regla graduada r , de unos centímetros; sin mover la pala, se levanta el pilón para dejarlo caer nuevamente, y así se repite la operación hasta lograr el corte de la tierra de 12 cm. de espesor. Si el golpe se hubiera repetido n veces, se tendrá:

$$T = n \cdot K;$$

siendo K , la constante específica de la pala.

Representación gráfica. — Se puede representar gráficamente la marcha de la determinación; llevando a un sistema de ejes coordenados: $X - Y$, el número de golpes y los centímetros de penetración, respectivamente. Obtendremos así una curva cuya observación permite apreciar la dificultad de penetración en los distintos estratos atravesados por la pala. Así, mientras en el primer golpe, la lámina ha cortado 4 cm., en el sexto, sólo alcanza a una fracción de centímetro.

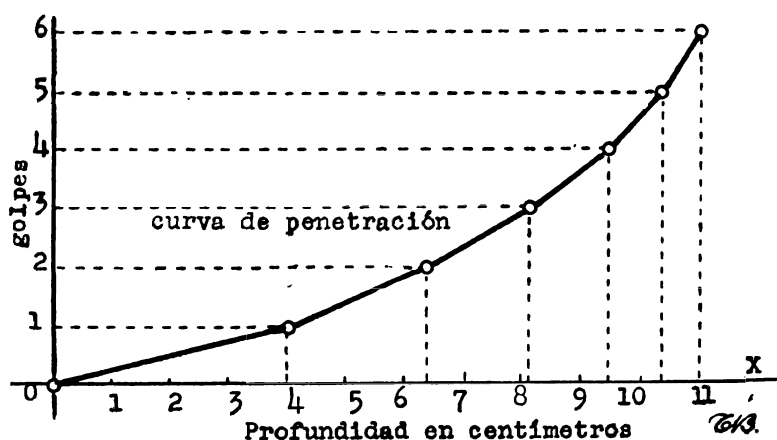


FIG. 2.

CORTE Y ADHERENCIA. — La resistencia medida por la pala dinamométrica, es la suma de una resistencia opuesta por la tierra a ser cortada y otra resistencia producida por la *adherencia* al instrumento cortante. La primera puede regirse por las leyes de la mecánica de resistencia al *corte* o *cizalladura* como si se tratara de un material cualquiera; leyes que establecen su proporcionalidad a:

- 1º A la sección del corte;
- 2º Al ancho del instrumento cortante;
- 3º A la resistencia específica del cuerpo, consecuencia de la tenacidad y cohesión de sus moléculas.

La propiedad de adherencia que tienen las tierras hace que se peguen a los instrumentos que las trabajan; variable para cada material, acero, hierro, madera, etc., y que ha permitido la elección de

estos elementos para las piezas de las herramientas de trabajo. Esta propiedad origina una reacción con caracteres muy particulares, que escapa a las leyes de frotamiento y participa de algo de las leyes de roce de los líquidos. Así, aumenta con la extensión de la superficie en contacto y es independiente de la presión. Lógicamente tiene que ser así, puesto que, a diferencia del frotamiento, en que los cuerpos en contacto conservan su integridad, excepción hecha del pequeño desgaste, la adherencia de la tierra a los órganos de trabajo es tan grande que las partículas se fijan fuertemente a la superficie de aquéllos, venciendo, la mayor parte de las veces, la fuerza de cohesión de la tierra misma y en estos casos la reacción es considerable. Desgraciadamente esta propiedad produce resistencias pasivas muy grandes en la mayor parte de las tierras de labor y aumenta con el grado de humedad y sólo se salva esta dificultad cuando las superficies en contacto adquieren un pulimento espeular.

ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA LABRANZA. — Es necesario conocer el valor de cada una de las reacciones que involucramos en la denominación de resistencia a la labranza. Una es la resistencia opuesta al corte y la otra, producida por la adherencia. Las dos son factores concurrentes y de distinta magnitud. La primera es inversamente proporcional al tenor de humedad; la segunda, obedece a una proporcionalidad muy particular: aumenta con la cantidad de agua hasta un cierto punto, para disminuir cuando el grado se aproxima a la saturación.

Para conocer estos valores por separado se procede de la siguiente manera con la modificación que he introducido en la pala dinamo-métrica de Conti.

Instrumentos. — Dos láminas, una de superficie S_1 , rectangular, de base b y altura h ; otra de superficie S_2 , de la misma base y altura pero de una forma tal como ilustra la figura 3, o sea con una diferencia en menos igual a s , que corresponde a las partes recortadas de una igual a la anterior.

Modo de operar. — Se hace una determinación, como ya se ha indicado, con la lámina (A) y tendremos: $T_1 = n \cdot K = N_1$ kgm. Estos N_1 kgm han sido absorbidos para enterrar la lámina a una profundidad h ; luego, llamando F_1 , el esfuerzo de la reacción, se

tiene la ecuación: $N_1 \text{ kgm} = h \cdot F_1$. También podemos establecer, de acuerdo a las leyes anteriormente enunciadas: $F_1 = r \cdot d \cdot S_1$; donde r , es el coeficiente de resistencia al corte; d , de adherencia. De donde:

$$r = \frac{F_1}{d \cdot S_1}$$

Se hace una segunda determinación con la lámina (B) y tendre-

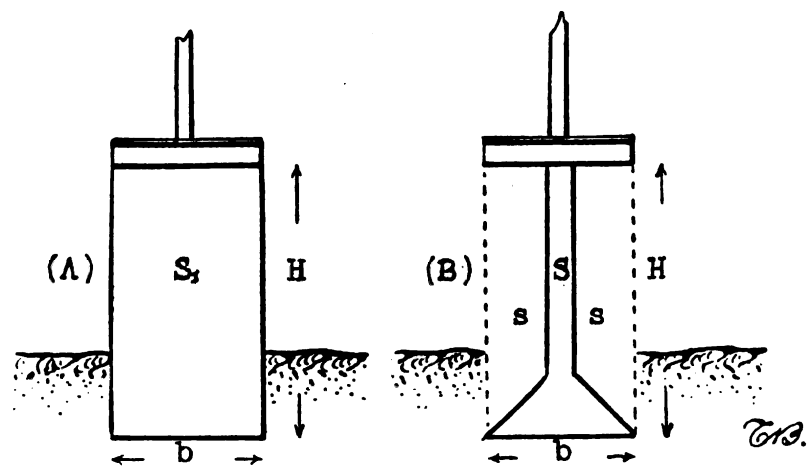


FIG. 3.

mos: $F_2 = r \cdot d \cdot S_2$. Llamando s , a la diferencia de superficie podremos establecer: $F_1 - F_2 = d \cdot s$; de donde

$$d = \frac{F_1 - F_2}{s} \quad [a]$$

La reacción de adherencia estará dada por la diferencia entre las dos determinaciones, con las láminas (A) y (B), y dividida por la diferencia de superficies.

Representación gráfica. — Los gráficos de la figura 4, muestran dos curvas OA y OB, correspondientes a la penetración, con cada una de las láminas (A) y (B). El ejemplo muestra un corte a una

profundidad de 12 cm. Con la lámina (A) se necesitan 6 golpes; con la (B), 4 golpes. La observación de los gráficos permite apreciar las características de las curvas. Así, la curva OA, tiende a ser parabólica; mientras la OB, en sus tramos finales, el aumento de resistencia es poco y tiende a ser recta, considerándose como aumento de tenacidad de los estratos inferiores y no al aumento de adherencia. Multiplicando el número de golpes, en cada caso, por las constantes K_1, K_2 de cada lámina, hallaremos el trabajo en kilo-

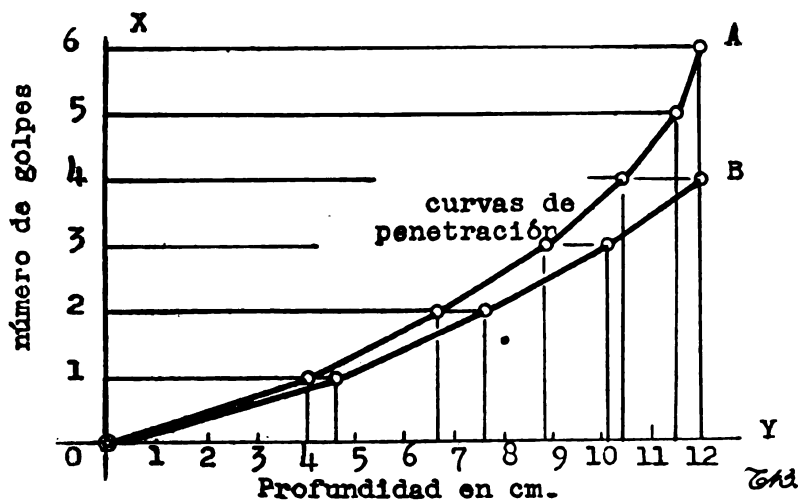


FIG. 4.

grámetros. Para el primer caso, 24 kgm y 16 kgm para el segundo (fig. 5).

EL CORTE HORIZONTAL. — La observación de la curva representativa del corte vertical, muestra claramente que la dificultad de corte crece con la profundidad; bien notable cuando se determina con la lámina (A) por el agregado de la reacción de adherencia, y también visible en la segunda determinación con la lámina (B), aunque la adherencia, en este caso, no aumenta sino en una pequeña porción.

De aquí se infiere la siguiente conclusión: el esfuerzo de corte de la banda de tierra está supeditado a dos resistencias de corte; una en la dirección vertical y la otra horizontal, de distinta magnitud.

Si se tiene en cuenta que el corte horizontal, en el trabajo de los

arados, es siempre mayor que el vertical — de 1,41 a 3 veces mayor — se comprenderá fácilmente que de la precisión de la determinación de este coeficiente, depende en gran parte, la aproximación de los resultados finales para hallar el trabajo útil.

MEDIDA DEL COEFICIENTE DEL CORTE HORIZONTAL. — Vemos en la práctica que, además del mayor esfuerzo que requiere el corte horizontal por la dureza del suelo, está dificultado por las raíces pivotantes que llegan hasta los estratos inferiores y algunas veces de gran tenacidad; tales como las de alfalfa, achicoria, rumex y otras,

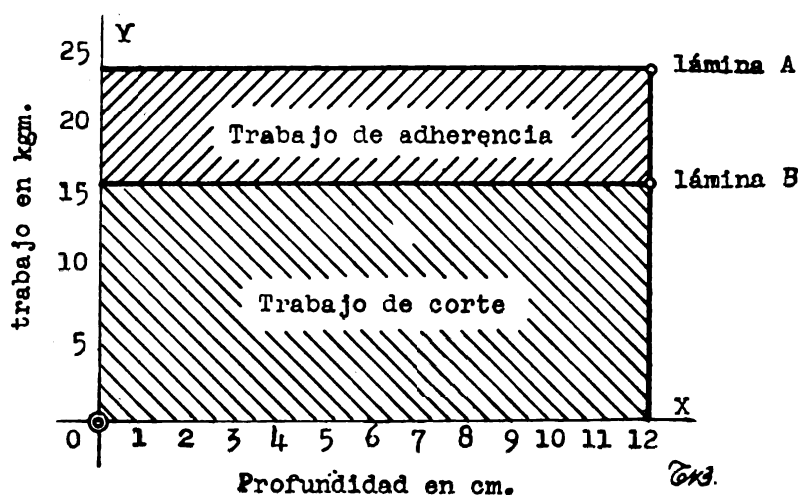


FIG. 5.

y que no son atacadas por la lámina en su marcha vertical, por más que corte ramificaciones que no tienen, desde luego, la misma tenacidad de aquéllas. Es, pues, necesario efectuar un corte horizontal para ponerse en las mismas condiciones de trabajo que las herramientas de labranza.

Se puede medir este esfuerzo y deducir luego un coeficiente, con el dispositivo que he ideado y ensayado, que represento en forma esquemática en la figura 6.

Consta de dos parantes p , unidos en la parte superior entre sí y en la parte inferior a una base b . De estos parantes está suspendido

un pilón P , de peso dado que en la posición (A), está en contacto sin presión con la lámina L , la cual puede deslizarse con un mínimo de rozamiento en la dirección que indica la flecha y atacar con su filo a la muralla de tierra correspondiente a un surco de profundidad H . El pilón P oscila libremente con un movimiento pendular, pudiendo pasar de la posición (B) a (A) sin más impedimento que la presión del aire y el rozamiento en el eje e . Por lo tanto, la energía cinética de P , no es exactamente igual al producto $h \cdot G$; pero estos factores son pequeños con relación a la fuerza viva, que pueden prácticamente despreciarse y obtener resultados perfectamente com-

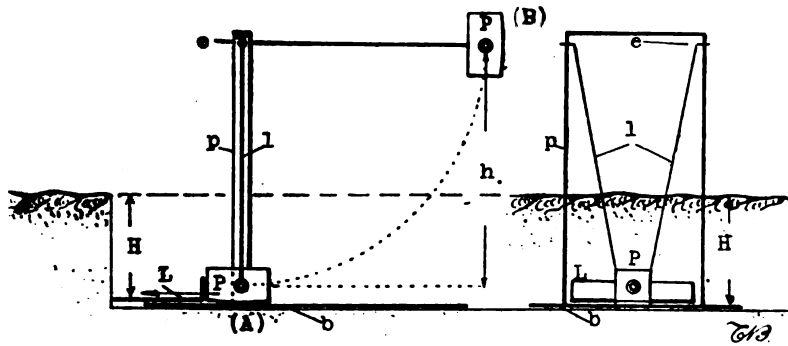


FIG. 8.

parables. La determinación del trabajo se efectúa por medio de las fórmulas anteriormente enunciadas. Es conveniente realizar ensayos de corte horizontal, con láminas distintas, semejantes a las (A) y (B) de las palas dinamométricas, para comparar la adherencia vertical con la horizontal; ensayos que se realizarán a una profundidad de corte igual a la profundidad del surco en los ensayos de arados.

CONCLUSIONES

En la difícil tarea de determinar el rendimiento de una máquina como el arado, cuyo esfuerzo absorbido tiene tan amplios límites, el éxito dependerá del conocimiento, en cada caso, del trabajo útil como he dicho al comienzo. Ensayos meticolosos y prolijos exigen un tiempo largo de acuerdo a las directivas que el maestro Ringelmann

aconseja diciendo que es necesario tener en cuenta « la calidad y la cantidad de trabajo práctico ejecutado en las diversas condiciones de funcionamiento », para llegar luego a establecer la ley que rige el trabajo de toda máquina agrícola que interpreta por la siguiente fórmula: $Y = a + bx$; donde Y , es el trabajo absorbido; a , el trabajo en vacío; b , el trabajo útil, y x , un coeficiente para cada máquina. Expresión de distinta forma pero coincidente con la de rendimiento definido anteriormente. La resistencia de corte y la reacción de adherencia forman parte integrante del factor b y en forma preponderante; pero queda por valorar una parte del trabajo útil, separación e inversión de la banda de tierra, que no ofrece tan serias dificultades siguiendo cualquiera de los procedimientos, que poco difieren entre sí y que conducen a los mismos resultados. (Desplazamientos de los centros de gravedad en cada banda; M. Conti, « Mecánica Agrícola » y Medida del desplazamiento vertical de la masa terrosa durante el trabajo; Ringelmann y Bourdelle, « Anales Agronomiques », enero de 1931).

Finalmente, el procedimiento de medida que propongo en este trabajo debe ser empleado con cierta circunspección. No pretendo con él clasificar las tierras por su resistencia, sino que integrará los ensayos dinámicos para los fines expuestos, y, dada la sencillez de la labor en el terreno, se presta para un gran número de medidas en cada ensayo de arados. En ciertos casos será útil para determinar *a priori* el trabajo necesario.

BIBLIOGRAFIA

- BALLU T. *Machines agricoles*; París 1933.
BOURDELLE J. *Les essais de machines agricoles*; París 1932.
CONTI M. *Mecánica agrícola*; II tomo; Buenos Aires 1913.
DAVIDSON J. B. *Agricultural machinery*; Nueva York 1931.
RINGELMANN Y BOURDELLE. *Anales Agronomiques*; París 1931.