

**TRACTORES Y MÁQUINAS AGRÍCOLAS**  
*TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINES*

**PUNTOS DE VISTA**

**Principio de la brocha mecánica aplicado a un implemento de preparación de suelo**

*Mechanical brush principle applied to an implement of soil preparation*

**Roberto Amado Albóniga Gil<sup>1</sup>, Calixto Domínguez Vento<sup>2</sup>, Ciro Enrique Iglesias Coronel<sup>3</sup>  
 y Astrid Fernández de Castro Fabre<sup>4</sup>**

**RESUMEN.** Cultivos como la caña de azúcar, son muy exigentes respecto a la profundidad de siembra y es necesario buscar formas conservacionistas para su preparación, de modo que se limiten al máximo los gastos energéticos, el deterioro de los campos y las emisiones de carbono a la atmósfera, producidas en grandes cantidades al dejar el suelo desnudo. Tomando como referencia la teoría para el diseño de la brocha mecánica, el objetivo de este trabajo consiste en aplicar el principio mecánico de la brocha y realizar un análisis de la misma para su aplicación a un implemento agrícola destinado a la elaboración del suelo en franjas, en la búsqueda de un incremento de calidad de labor y disminución de los gastos energéticos, así como, aumentar la preservación del medio ambiente.

**Palabras clave:** caña de azúcar, maquina agrícola, agricultura de conservación.

**ABSTRACT.** Crops like sugar cane are very demanding about the depth of planting and conservationists must find ways to produce, so as to limit the maximum energy costs, the deterioration of the fields and carbon emissions to the atmosphere produced in large quantities to leave bare soil. Taking like reference the theory for the design of the mechanical brush, the objective of this work consists on to apply the mechanical principle of the brush and to carry out an analysis of the same one for its application to an I implement agricultural dedicated to the elaboration of the soil in fringes, in the search of an increment of work quality and decrease of the energy expenses, as well as, to increase the preservation of the environment.

**Keywords:** sugar cane, agricultural machine, conservation agriculture.

**INTRODUCCIÓN**

Una forma conservacionista de preparar el suelo para la siembra, es el laboreo en franjas, donde solo se promueve este, donde tendrá una relación directa con la semilla. En cultivos como la caña de azúcar, la exigencia agrotécnica indica una profundidad de siembra entre 25 y 30 cm. Para lograr esta profundidad, con un nivel de desterronamiento aceptable, se requieren varias labores, que por lo general son altamente agresivas siendo el resultado un suelo desnudo, muy susceptible a la erosión hídrica y eólica así como a la acción directa de los rayos del sol, provocando la destrucción de la flora y una alta liberación de carbono a la atmósfera, (Reicosky, 2006).

El corte horizontal del suelo es una forma de laborarlo menos agresiva al no invertir el perfil y se utiliza generalmente para eliminar la vegetación indeseable, cortando a poca profundidad el sistema radical de esta vegetación, evitando su desarrollo. Ejemplo de implementos que realizan esta función la tenemos en los escardillos y multiarados.

Si se realizaran cortes progresivos al suelo por profundidad, de forma similar a como lo realiza la brocha mecánica a los metales, durante el arranque de virutas, se podría lograr un buen grado de desmenuzamiento en el área donde se conformará el surco, con un notable ahorro de energía en la preparación del campo para la siembra y una un aumento de la calidad de labor.

**Recibido** 25/01/10, aprobado, 10/09/11, trabajo 51/11, Investigación.

<sup>1</sup> Ing., Inv., Centro de Investigaciones de Construcción de Maquinaria (CICMA). SIME, La Habana, Cuba, E-✉: [astrid@isch.edu.cu](mailto:astrid@isch.edu.cu)

<sup>2</sup> Ing., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba.

<sup>3</sup> Dr.C., Prof. e Inv. Titular, Universidad Agraria de La Habana-CEMA, Mayabeque, Cuba.

<sup>4</sup> M.Sc., Inv., Universidad Agraria de La Habana-CEMA, Mayabeque, Cuba.

## DESARROLLO

### Algunos criterios de la diferencia entre corte superficial y profundo

Kostritsyn (1956), describe el mecanismo de interacción suelo-órgano de trabajo, cerca de la superficie, como un desterronamiento con la formación de terrones que se deslizan sobre la grieta de fractura; para mayores profundidades se sucede un mecanismo de corte longitudinal del suelo ocasionado por la compresión plástica de este por el órgano de trabajo. O'Callaghan (1964) y McCullen (1956), coinciden en sus investigaciones con las conclusiones planteadas por Kostritsyn (1956), la existencia de dos mecanismos diferentes de ruptura del suelo en función de las profundidades de labor (elevada o superficial), sentando la diferencia entre un mecanismo y otro, en dependencia del ángulo de enfrentamiento de la cuña y la relación profundidad de labor-ancho de la cuña. En sus trabajos Zvoryskin (1968), estudió la acción de la cuña trabajando de forma superficial planteando como resultado la formación de virutas de suelo.

Vasilienko (1956), apuntó “Los problemas de la mecanización de la agricultura son muy complejos y la investigación de los procesos realizados por los implementos para el laboreo del suelo son mucho más difíciles que en otras ramas de la técnica; por ejemplo, el análisis del proceso de aradura es mucho más complejo que el de maquinado de metales por arranque de virutas (no obstante su semejanza formal), ya que entre otros

aspectos, en este último la viruta es un desperdicio, mientras que en el caso del suelo, la “viruta” es el objetivo y resultado de la labor y debe presentar una determinada estructura y grado de desterronamiento, lo cual implica un problema complementario de ingeniería y agrobiología”.

### La brocha mecánica

El brochado es el proceso de elaboración de metales con arranque de virutas utilizando la herramienta llamada brocha, la cual está formada por cuchillas múltiples transversales, montadas sobre una barra, con un aumento gradual de las dimensiones de estos (Oberg y Jones (1972). El perfil y las dimensiones de las cuchillas cambian gradualmente de tal manera que el primero tiene la forma de la superficie a elaborar y el último, la forma y las dimensiones de la superficie ya elaborada (Alvarado, 1985). La operación de brochado es muy rápida, exacta y deja un acabado de buena calidad. Las brochas pueden ser utilizadas para acabados interiores o exteriores, siendo las segundas las de interés analizar en este trabajo.

Para el diseño de las brochas es necesario tomar en cuenta una serie de criterios que resultan determinantes: Paso de los dientes, profundidad de corte por diente, ángulo de incidencia o de cara, ángulo de salida, ancho de la superficie de salida, profundidad de los dientes, y radio de redondeado del fondo del diente (Figura 1).

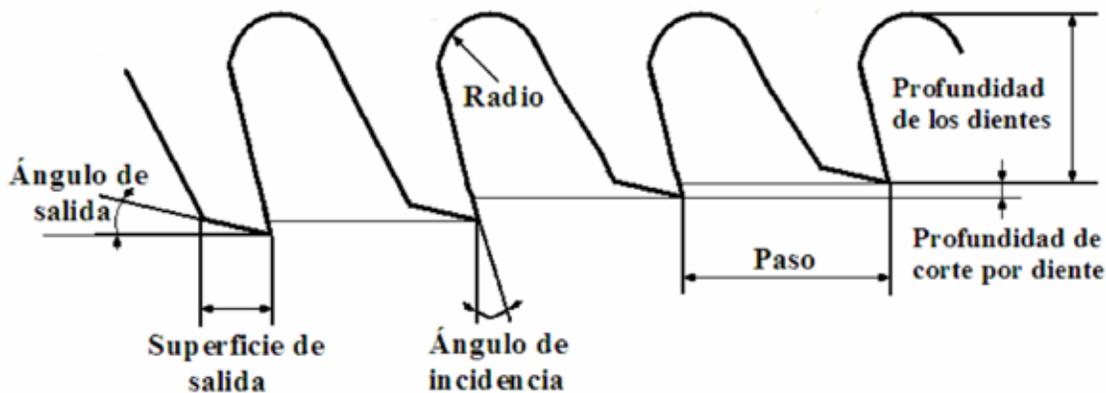


FIGURA 1. Parámetros fundamentales considerados en el diseño de la brocha mecánica.

El paso de los dientes depende de la profundidad del corte o grueso de la viruta de la longitud del corte, de la fuerza de corte requerida y potencia de la máquina de brochar. La profundidad de corte se basa principalmente en la factibilidad de maquinado del material y representa la diferencia en altura de los dientes sucesivos, aunque, en algunos casos, el paso y la longitud de corte pueden aumentarse para reducir la fuerza de empuje.

El ángulo de incidencia o de cara favorece el desprendimiento de la viruta y puede variar considerablemente para los diferentes materiales, mientras que, el ángulo de salida reduce el efecto de fricción entre la pieza y la brocha posterior al corte. La superficie de salida se escoge con la finalidad de obtener una relación adecuada entre la resistencia del diente y el espacio para la viruta.

La profundidad de los dientes, se establece de forma experimental y sobre la base de experiencias anteriores, suele variar entre unos 0,37 a 0,40 del paso (Oberg y Jones, 1972).

El radio de redondeo del fondo del diente, tiene la función de recipiente o fondo del espacio para virutas entre dientes, el mismo debe ser redondeado para reducir el esfuerzo de cada diente de la brocha.

Otro criterio de diseño tomado en cuenta, es el ángulo de corte, el fin de esta inclinación radica en obtener un corte de cizalla que proporcione una acción más suave del mismo y una superficie más acabada. El ángulo de corte usualmente varía de 10...25° (Oberg y Jones, 1972).

Los dientes de la brocha tienen frecuentemente unas ranuras o rompevirutas, como su nombre lo indica, para romper las virutas a intervalos a lo largo de su filo cortante, reduciéndose así la presión de corte y el esfuerzo de la brocha.

Para calcular la longitud total de la brocha, luego que se ha determinado la profundidad de corte por diente, se divide la cantidad total de material que se ha de arrancar con la brocha por la profundidad de los dientes, y así se tiene el número total de dientes activos necesarios.

El trabajo de la brocha es igual al de muchas cuchillas de torno, desplazadas unas respecto a otras, en pequeñas distancias, llamada avance por diente, la que determina el espesor de la capa de metal arrancada por el diente. A pesar de la relativa baja velocidad de corte en el brochado (2...15 m/min) el proceso resulta muy productivo y con altísima calidad. El avance por diente es un valor muy importante en la construcción de las brochas; depende del esquema de corte, de las propiedades del material y de las exigencias de acabado de la superficie a laborar. Para garantizar un buen acabado, el avance, debe estar en una relación de  $R_a = 1...2 \mu$ . Siendo:  $R_a$ -relación de avance;  $\mu$ - índice de rugosidad del material a laborar.

A menudo el paso de los dientes no se toma con un valor constante, para evitar las vibraciones en el trabajo y obtener una superficie brochada con mejor acabado.

Un factor importante en el diseño de la brocha es la comprobación de la resistencia de los dientes. La tensión de tracción se calcula por la expresión:

$$\sigma = \frac{P_z}{F_{\min}} \leq \sigma_{adm} \quad (1)$$

donde:

$P_z$ -componente axial de la fuerza de corte, N;

$F_{\min}$ -área de la sección más peligrosa (usualmente en el primer diente de corte), mm<sup>2</sup>;

$\sigma_{adm}$ - tensión admisible a la tracción, (depende del material de la brocha), MPa.

La fuerza componente principal  $P_z$  se puede calcular aproximadamente por la expresión siguiente:

$$P_z = p \cdot S_z \cdot B \cdot Z_{\max} \quad (2)$$

donde:

$p$ -Fuerza específica de corte por mm<sup>2</sup> de la viruta arrancada, MPa;

$S_z$ -avance por diente, mm;

$B$ -ancho de la viruta arrancada por un diente, mm;

$Z_{\max}$ -número máximo de los dientes que se encuentran simultáneamente trabajando.

Los estudios y la experiencia acumulada, en el diseño y utilización de la brocha mecánica en el conformado de metales y la extensión de sus propiedades a otros materiales, inducen a extender, su principio de funcionamiento, a un implemento para la preparación del suelo para la siembra, considerando muchos de los conceptos básicos que intervienen en su concepción.

## Aplicación del principio mecánico de la brocha a un implemento de preparación de suelo

De la misma forma que el principio de funcionamiento de las máquinas fresadoras, se llevó al diseño de la fresa agrícola, es posible, establecer una transición entre el subsolador y el multiarado, donde se pueda introducir tantos escalones de corte como sean necesario, para reducir la dimensión de los terrones hasta lograr un mullido del suelo aceptable para el cultivo, con una profundidad adecuada, sin requerir ninguna operación de roturación previa.

A diferencia de la fresa agrícola, este implemento no requiere un suministro adicional de energía, solo el demandado para tracción, y debe reducirse considerablemente si se compara con un subsolador trabajando a la máxima profundidad.

Si algunos de estos criterios se toman en cuenta para aplicarlos a un implemento para la roturación, se tendría como principal dificultad, que en la composición del suelo, su homogeneidad no es como en los metales, pues pueden existir rocas, restos de raíces, u otros obstáculos, que impidan el normal desplazamiento de los brazos con rejas, pero esa dificultad ha sido estudiada para la generalidad de los implementos de preparación de suelos, diseñándose dispositivos actuadores y recuperadores que pueden ser incorporados al producto final, desde un simple fusible, hasta mecanismos de protección o recuperación, mecánicos o hidráulicos, que actúen cuando la resistencia al avance exceda el valor normal de carga, y al cesar esta resistencia pueda continuar la labor de roturación.

Intentos anteriores de roturación con elementos en tándem se tiene en el escarificador-descepador

C-101, con dos brazos curvos con rejas y cuchillas laterales (Figura 2a), concebido para el laboreo en franjas, como descepador y surcador, presentando como mayor dificultad, no lograr un aceptable nivel de desterronamiento, lo que limitó su empleo a surcador. Otro intento, con mejores resultados en calidad de desterronamiento, se obtuvo con el C-101XV o C-104 como fue llamado en un inicio Figura 2b, pero otras dificultades en su concepción limitaron su éxito.

Muchos de los criterios de diseño de la brocha pueden ser considerados para ser aplicados a este implemento agrícola, mientras otros no son necesarios tomarlos en cuenta, como es el caso del radio de redondeo del fondo del diente, que tiene la función de alojar las virutas que se desprenden entre los dientes. En la brocha este radio debe ser considerado para reducir el esfuerzo de cada diente, no siendo así, pues para el caso del implemento, pues la salida del suelo en forma de viruta es libre.

La nueva propuesta, pretende lograr un escalonamiento progresivo en la profundidad de corte de cada brazo, como sucede en la brocha (Figura 3), con sus respectivas rejas, las que tendrán cuchillas laterales, que incrementarán el ancho de labor de mayor a menor, de forma que cortarán el suelo por capas, sin alterar los perfiles y por consiguiente, los terrones resultantes deben ser de dimensiones inferiores al paso o incremento de profundidad, como sucede con la brocha mecánica.

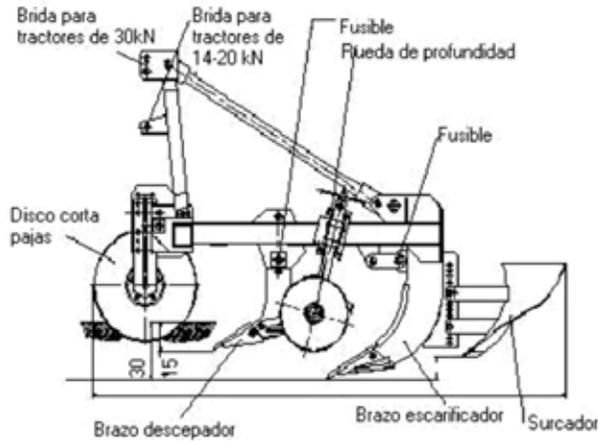


FIGURA 2a. C-101.

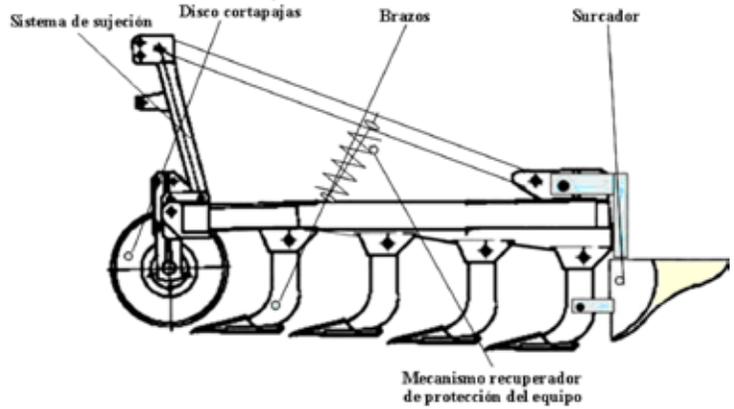


FIGURA 2b. C-101 XV o C-104.

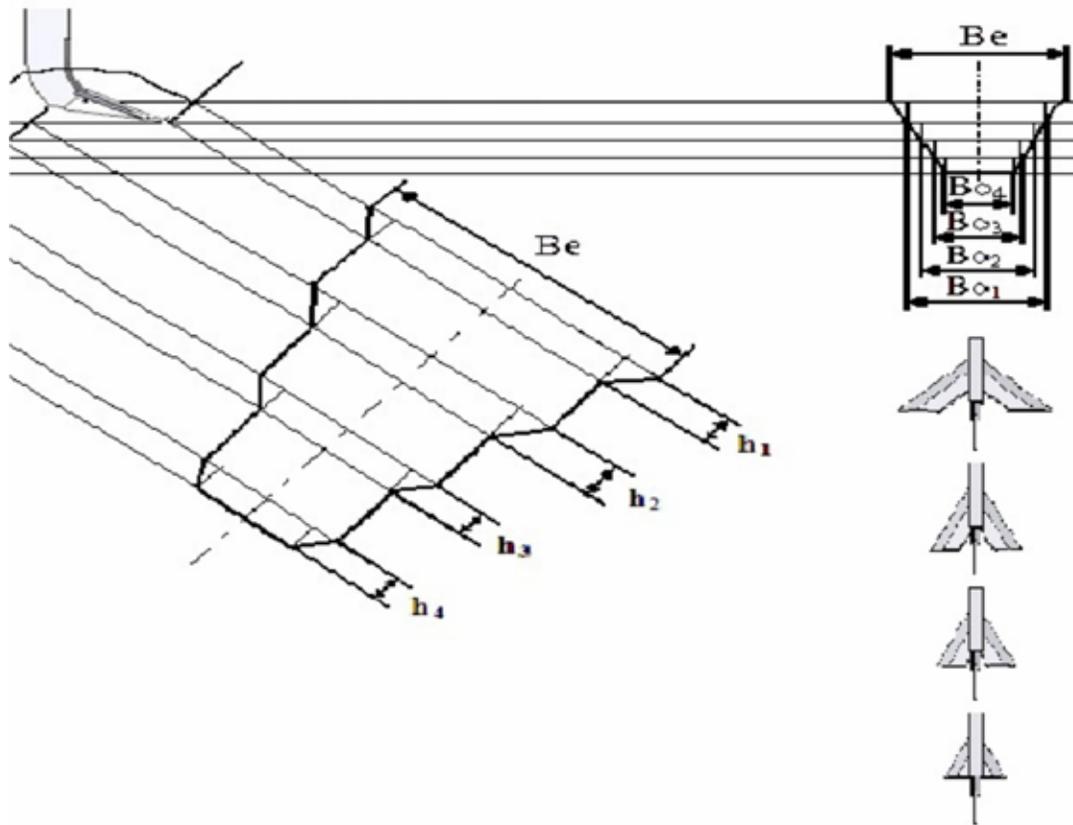


FIGURA 3. Proyección de corte para el caso de cuatro brazos.

Se debe recordar como señalaba Vasilenko (1956), para este caso la “viruta” es el objetivo y resultado de la labor, por lo que el grado de desmenuzamiento va a estar determinado por el incremento de la profundidad de corte que se fije a cada brazo. En resumen, el primer brazo escarificador con cuchillas laterales, al laborar a una profundidad de 5...10 cm, realizando una labor similar al multiarado, tendrá que enfrentar la variabilidad del perfil superficial, a una mayor compactación y a la resistencia que producirá el contacto y corte de las raíces de las plantas, que puedan estar presentes en el trayecto, a diferencia

de los brazos que se puedan colocar detrás. Para los brazos posteriores, que se enfrentarán a una altura de corte con muy poca variabilidad, solo encontrarán la diferencia producida por la fricción del suelo ya cortado contra el brazo de cada órgano. Esta diferencia en cada brazo es mínima con relación a la fricción que ocurre por la acción del corte de la reja y de las cuchillas laterales sobre el suelo.

Como todo análisis teórico, su validez queda demostrada cuando se evalúa de forma experimental y es llevado a la práctica cotidiana.

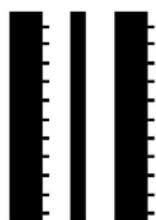
## CONCLUSIONES

- Colocando brazos de menor a mayor profundidad y rejas con cuchillas laterales que varíen de mayor a menor el ancho de corte en una misma hilera, similar a la brocha mecánica, se puede remover el suelo de forma progresiva, logrando que las partes cortadas se desprendan en tamaños inferiores, o a lo sumo, iguales a los escalones producidos por la diferencia entre la altura de cada órgano contiguo.

Este escalonamiento hará que cada corte se realice incrementando la profundidad contra un ancho de corte menor que el anterior. La intención es lograr sobre el suelo un efecto similar al logrado con una escrepa o una brocha mecánica en el trabajo con metales, cuando se desea obtener un buen acabado superficial sobre un área reducida, realizando cortes continuos a poca profundidad, simulando el efecto de arranque de virutas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, O. y Z. MARINOV: *Diseño y construcción de herramientas de corte*, 221pp., Ed. Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1985.
- ZVORISKIN, V. I.: *Teoría de la destrucción del suelo*, pp. 368-380, En: Obras Seleccionadas, Tomo II, Editorial Kolos, (en ruso), Moscú, Rusia, 1968.
- KOSTRITSYN, A. K.: *Corte de un medio coherente con cuchillas y conos*, pp. 247-290, Academia Soviética de Ciencias Agrícolas, Mecanización del laboreo del suelo, Recopilación de trabajos, Leningrado. No.3, Rusia, 1956.
- OBERG, E. y D. JONES: *Manual universal de la técnica mecánica*, 2119pp., pp. 1541-1547, Tomo II, Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba, 1972.
- O'CALLAGHAN, J. R and K. FARRELLY: "Cleavage of soil by tined implements", *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9(3): 259-270, 1964.
- REICOSKY, D. C. and E. SAXTON: *Reduced Environmental Emissions and Carbon Sequestration*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, ISBN: 92.5.105389.8, Rome, 2006.
- MCCULLEN, H:F Y E. ERICSSON: "Mediciones de fuerza para implementos de laboreo", *Agricultural Engineering*, 37: 605-608, (en inglés), 1956.
- VASILJENKO, J. F.: *Problemas y teoría de las máquinas y mecanismos para la mecanización de la agricultura*, *Problemas actuales de la teoría de máquinas y mecanismos*, (en ruso). Editorial Kolos, (en ruso), Moscú, Rusia, 1956.



# GIAF