

Objetivos: Obtener granos limpios con
mínimas pérdidas

COSECHADORAS DE GRANO

Su adaptación a las cosechas

M. Ruiz Altisent*

● Relaciones entre las propiedades físicas de los materiales a recolectar y las regulaciones en las cosechadoras.



Las máquinas agrícolas presentan la particularidad, respecto de cualquier otra maquinaria industrial, de que entran en contacto con un material biológico. Este material se caracteriza sobre todo por su variabilidad: cada especie, variedad, condiciones agronómicas y climáticas, cada campaña, presenta unas condiciones distintas del material a recolectar.

En el caso de la cosechadora de grano, se plantea además la necesidad de su adaptación a la recolección de materiales muy diversos, desde el trigo, maíz y el resto de cereales hasta girasol, legumi-

nosas grano (soja, garbanzos, judías...) y semillas de alfalfa. La adaptación a tan variados objetivos sólo es posible mediante un conocimiento completo de las propiedades de cada uno de los materiales, en relación al funcionamiento de los distintos elementos de la cosechadora.

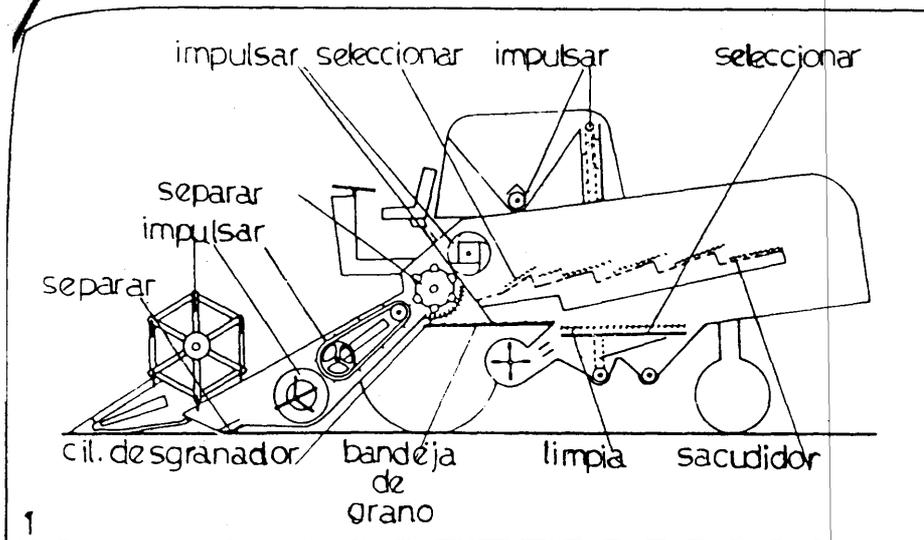
El objetivo a cubrir con la cosechadora de grano es, en todos los casos, obtener granos limpios y con un mínimo de pérdidas (granos irrecuperados) y de daños (granos partidos, fisurados). En ambos casos, los techos de eficiencia alcanzados por las cosechadoras actuales son muy altos, por lo que la exigencia en la optimización del funcionamiento de la máquina es muy grande. En cereales, pérdidas del 2% ya se consideran excesivas, mientras que en cualquier otro tipo de cosechadoras se aceptan niveles de hasta

el 20% (forrajes, hortalizas). En la práctica, sin embargo, si se determinaran sistemáticamente las pérdidas, éstas suelen alcanzar como media un 4,5% en cereales y hasta un 8% en soja. Por otro lado, los daños raramente son reconocidos, y las pérdidas posteriores que originan pueden llegar a ser muy altas.

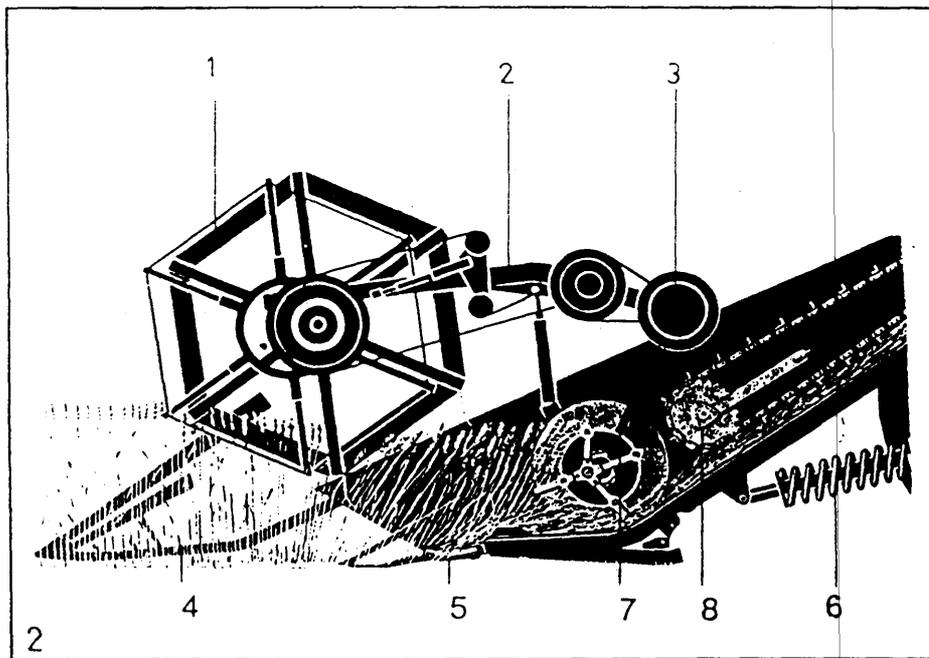
Pérdidas y daños se producen en los distintos órganos de la máquina, en relación a las propiedades que vamos a enumerar. Asimismo, la eficacia de cada uno de los grupos de operaciones realizadas por la cosechadora: corte y elevación, trilla y limpieza, depende del correcto ajuste entre cada uno de los órganos de la máquina y las condiciones del material que entra en ella. La fig. 1 muestra las operaciones realizadas sobre el material en la cosechadora.

* Dr. Ingeniero Agrónomo. Departamento de Mecanización Agraria. ETSIA. Madrid.

SECHADORAS



Operaciones que realizan los diferentes órganos de una cosechadora de cereales convencional.



El cabezal realiza el corte y la elevación. 1: molinete; 2: regulación continua vertical y de avance del molinete por medio de motor eléctrico (3); 4: divisores; 5: barra de corte; 6: amortiguadores; 7: cilindro sinfin alimentador con dedos retráctiles; 8: elevador-alimentador.

1. CORTE Y ELEVACION

Partiendo de que las pérdidas por dehiscencia natural no son debidas a la cosechadora (aunque pueden llegar a ser las más altas), el material que entra en contacto con el cabezal (fig. 2) se caracteriza por el tipo de tallo: altura, y posición respecto del suelo (erecto, encamado), grosor, resistencia al corte, fragilidad.

Se concreta en los diversos casos:

En cereales, la altura de corte se relaciona con la altura de la mies, y con la cantidad de paja que se quiera introducir en la máquina; si el material se encuentra encamado, la plataforma de corte se baja lo más posible, y se ayuda la entrada de la mies con la posición adelantada y la mayor velocidad de giro del molinete; la humedad tiene aquí influencia en la fragilidad de la paja (que será segada por la barra de corte con mayor o menor faci-

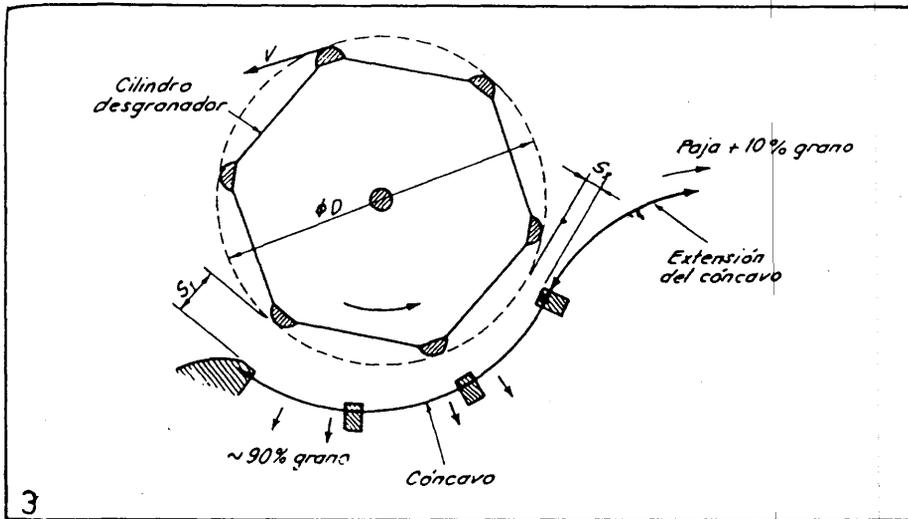
dad) y en las pérdidas en la barra de corte (por dehiscencia de granos por el impacto de un molinete mal regulado); la mala regulación del molinete es una de las principales causas de pérdidas en la recolección de cereales. Por ello, el control continuo — por medio de elementos hidráulicos —, de su altura, posición horizontal respecto a la barra de corte y velocidad de giro, es un factor positivo de las cosechadoras actuales. Igualmente se introduce el control continuo, manual o automático, de la altura de la plataforma para la mejor adaptación a las condiciones de la mies y del terreno. Por otro lado, la base de los dedos debe empujar las espigas sin golpearlas.

La rigidez y la mayor o menor resistencia a la fricción de los tallos influyen en la calidad del corte, en relación a las características de afilado de las cuchillas y su velocidad: a mayor rigidez y fricción, mayor calidad de la siega; las espigas serán cortadas limpiamente sin ser empujadas o "zarandeadas". A menor superficie de corte (superficie cubierta por la zona entre la cuchilla y el dedo), mayor suavidad y uniformidad en el corte. Debe perseguirse una mayor relación velocidad de corte/velocidad de avance y una menor distancia entre dedos.

La suave suspensión de la plataforma y la posibilidad de ataque en ángulo sobre los tallos también mejora la suavidad de corte.

En el maíz grano los tallos presentan unas características muy particulares. El cabezal de maíz recoge las mazorcas por un efecto de "ordeño" de los tallos, que permanecen en el terreno; la posición de las plantas, su densidad (núm. de plantas en la línea) y su rigidez y resistencia a la rotura afectan enormemente a las pérdidas de mazorcas en el cabezal. La óptima regulación de la velocidad de avance (menor, si las plantas están encamadas o enredadas, o si la producción es muy alta) y del giro de los rodillos arrancadores (mayor si las plantas están más altas y/o densas) reduce las pérdidas al mínimo.

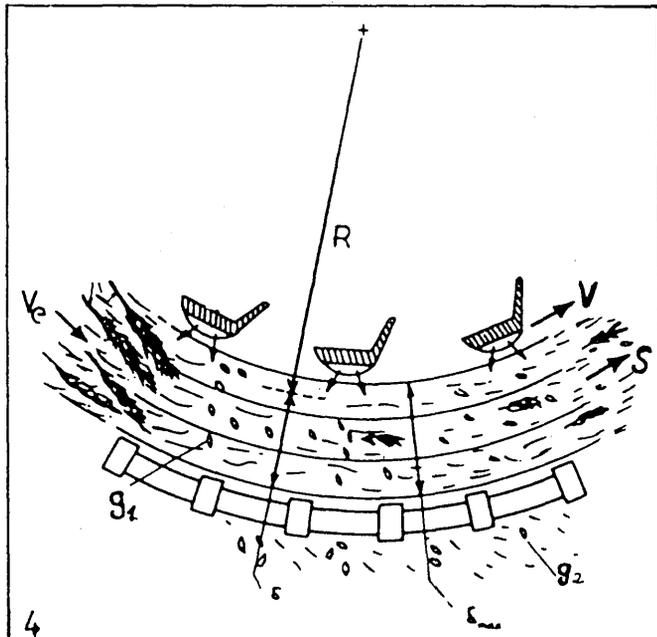
En la soja, semillas de pratenses y parcialmente el resto de las leguminosas grano, el porte bajo y más o menos rastro de las plantas, así como la debilidad de la unión de los granos, son causa de pérdidas que requieren el desarrollo de órganos específicos, aún no totalmente conseguidos o introducidos: control automático de altura, corrientes de aire hacia el interior de la plataforma, rodillos alimentadores hacia la plataforma, etc. La utilización de la plataforma de cereales convencional supone velocidades de avance y de giro del molinete especialmente bajas, la utilización de "levantadores" de mies y una elección cuidadosa del momento óptimo de recolección. En estos casos, la humedad es el primer factor de influencia y, en otro orden, la



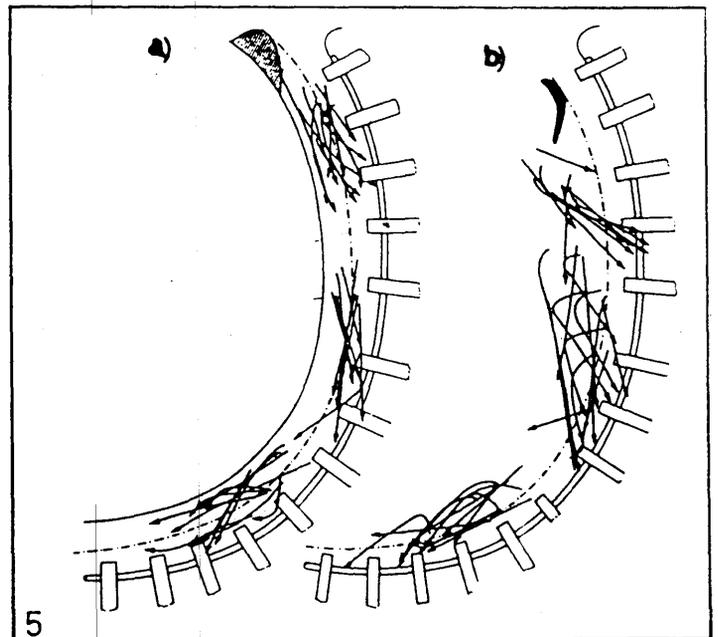
3 Cilindro desgranador y cóncavo. v = velocidad periférica del cilindro desgranador.

90% del grano en la primera zona del cóncavo: entrando "espigas por delante" las barras del cilindro desgranador las golpean nada más introducirse en su radio de acción: efecto principal de impacto; el resto de la longitud del cóncavo, queda para el paso del grano a su través, tras algún impacto con alguna de sus barras. A la vez, la paja se encuentra suficientemente seca y avanza en una capa fina, dejando los huecos necesarios para una fácil separación a través del cóncavo. El 10% restante de grano que pasa a los sacudidores junto con la paja (en su mayor parte, paja larga es fácilmente recuperable).

Por otro lado, en estas condiciones, las irregularidades en la alimentación o entrada de producto no son críticas, al existir espacio de cóncavo suficiente, incluso para un desgranado algo más retrasado la entrada del cóncavo.



4 Modelo físico del proceso de trilla. v_e : velocidad de entrada del material a trillar; g_1 : grano trillado; g_2 : grano separado, δ_{max} : grosor máximo del material trillado (δ = grosor); s : salida de paja, espigas sin trillar y granos separados; R : radio de la primera capa de material (dividido en tres capas de diferente velocidad).



5 Cilindros desgranadores cerrado (a) y abierto (b). Las trayectorias de los granos están dirigidas hacia el cóncavo mucho más marcadamente en b) que en a), según observaciones con fotografía rápida de un proceso de trilla.

creación y elección de variedades con propiedades más adecuadas a la recolección mecánica.

2. TRILLA

La comprensión de cómo se produce el proceso de la trilla ayuda a dominar el por qué de los diferentes ajustes, y las posibilidades de adaptación del trillado convencional a otros materiales distintos de los cereales.

Globalmente, el producto que entra en la máquina está constituido por tallos,

hojas y los granos, incluidos éstos con mayor o menor fuerza en cubiertas protectoras de las que han de ser separados.

La fig. 4 muestra cómo la trilla consta de tres fenómenos físicos esenciales:

- desprendimiento de los granos
- paso de los granos a través del mazo de paja
- paso de los granos a través del cóncavo.

En la trilla de cereales en óptimas condiciones se obtiene una separación del

Es interesante observar (fig. 5) cómo el cilindro de listones convencional (no tapados los espacios entre listones) induce a un movimiento radial de los granos, ayudando el paso de éstos por el cóncavo.

Estas condiciones óptimas no se dan en muchos casos. En los cereales, material más adecuado para este sistema de recolección, varían las condiciones: a) variedades: facilidad de separación (= de trilla), fragilidad de la paja b) de la cosecha: posible encamado, irregularidad, humedad. Si se trata de otras especies (maíz, leguminosas-grano, prátenses) de carac-

CHADORAS

cas radicalmente diferentes, el pro- se va complicando, requiriendo las espondientes regulaciones y adapta- nes:

El tamaño del grano requiere la regula- ción de la separación adecuada cilindro- cóncavo. Ello es especialmente importan- te cuando se añade una dificultad de desprendimiento: en este caso, el grano no se desprende prontamente por impac- to en la zona inicial del cóncavo, sino que requiere ser friccionado contra el mismo, para su total liberación; la necesidad del ajuste de la separación cilindro-cóncavo es por tanto esencial en este respecto. Ejemplos extremos de ello se tienen en el maíz-grano: mayor separación, tapado del cilindro para impedir la introducción de las mazorcas a su través, cóncavo más abierto; y en la semilla de trébol: mínima separación cilindro-cóncavo, chapas para cubrir el cóncavo y evitar el paso prema- turo de semillas no trilladas.

Paralelamente, hay que tener en cuenta que cuanto mayor es el efecto de fricción, mayor es el efecto de triturado de la paja, y con ello la dificultad en la separación y limpia posteriores.

Intimamente ligada a la regulación de la separación cilindro-cóncavo se encuen- tra la de la velocidad de giro del propio cilindro desgranador. Este factor influye en los dos aspectos:

- eficacia de la trilla
- daños a las semillas.

Eficacia de la trilla: el aumento de las revoluciones del cilindro desgranador trae consigo una trilla más eficaz por la com- binación de los efectos: energía de los impactos sobre los granos y disminuición del grosor del maraño que pasa entre el mismo y el cóncavo (lo que facilita el paso de los granos a su través).

Sin embargo, el efecto es negativo sobre los daños: el grano seco, que trilla fácilmente, se daña principalmente por impacto. Al estar separado de sus cubier- tas desde la primera zona del cóncavo, tiene muchas oportunidades de golpearse contra las barras del mismo: si la energía de los impactos es alta (velocidad del cilindro alta), se parte mucho grano. En otro aspecto, si la proporción de paja es demasiado baja, aumenta la posibilidad de impactos y por tanto de daños por las mismas causas.

En materiales con una mayor humedad se produce una mayor dificultad de trilla por el sistema explicado de impacto. En esta situación, lo mismo que en la trilla de otros materiales especialmente difíciles, debe darse al dispositivo trillador la oportu- nidad de actuar por fricción para la separación del grano: disminuir la separación cilindro-cóncavo, cubrir el cóncavo e incluso el cilindro con chapas; si la alimentación (paja + grano) total es de-

masiado baja, también desciende la efi- cacia de la trilla por falta de fricción suficiente.

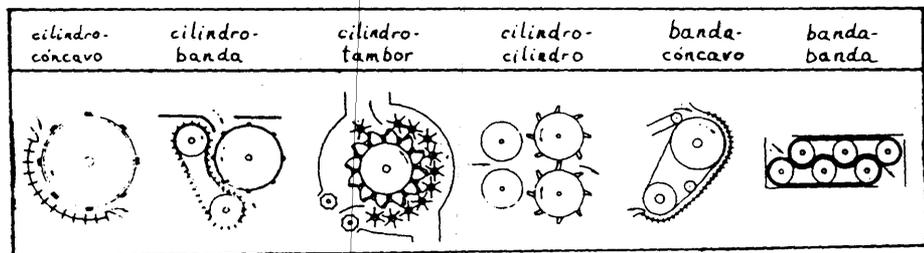
En el extremo de cultivos muy difíciles de trillar debe pensarse en otros sistemas de trilla. En este contexto, la sustitución del cilindro desgranador de barras por el de dientes se utiliza normalmente para la

recolección del arroz. En este tipo de cilindros el efecto trillador es sustancial- mente diferente: la importancia relativa del batido o impacto queda en segundo plano, produciéndose sustancialmente un efecto de arranque o triturado con alta proporción de fricción. La velocidad de giro se mantiene alta.

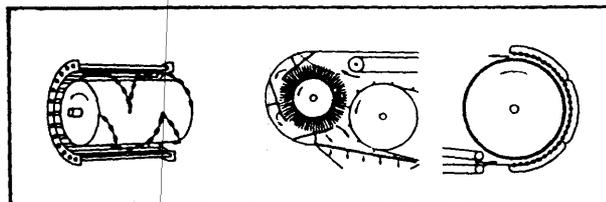
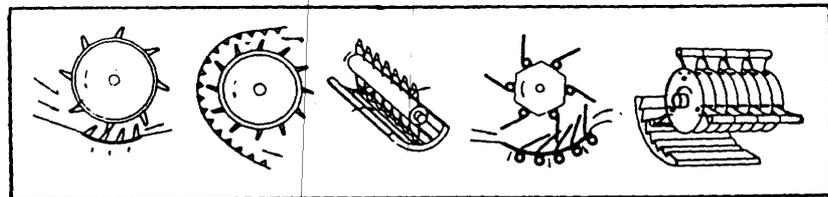
TABLA 1

VALORES MEDIOS DE REGULACION DEL CILINDRO TRILLADOR Y CRIBAS PARA ALGUNOS CULTIVOS (LA REGULACION DE LA VENTILACION ES ESENCIAL PARA EL FUNCIONAMIENTO CORRECTO DE LAS CRIBAS)

	r.p.m. cilin- dro desgra- nador	Separación cilindro- cóncavo (mm)	Zarandón (mm)	Criba (mm)
Trigo	750-1.200	3-13	16-19	3-7
Cebada	750-1.300	3-16	12-19	6-12
Soja	450- 850	9-25	13-19	9-13
Judías (grano)	250- 700	13-25	13-19	9-13
Guisantes (secos)	300- 550	7-16	16-19	9-13
Maíz	400- 900	25-38	11-16	13-16
Trébol	950-1.200	1,6- 5	7-9	3-7
Alfalfa	700-1.300	3-9	9-13	1,6-3
Pratenses	900-1.300	3-9	13-16	3-7
Arroz	700-1.050	2-12	16-19	6-9
Girasol	375- 600	13-38	13-19	13-16



cilindro-cóncavo:



6

Sistemas de trilla no convencionales y diferentes tipos constructivos del sistema cilindro-cóncavo.

SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRILLA

Al plantearse la recolección con cosechadora de cultivos distintos de los tradicionales puede ser necesario considerar sistemas alternativos de trilla, que pudieran ser o no adaptables a las cosechadoras convencionales. La fig. 6 muestra una serie de sistemas, en ciertos casos ensayados, en otros simplemente propuestos. Su estudio es objeto de investigación según los objetivos propuestos.

De entre ellos, un sistema actualmente ya utilizado es el que se basa en el cilindro longitudinal (conocido por "axial flow"). Con este sistema se pretende mejorar el proceso de trilla en varios aspectos, en relación a las características comentadas más arriba: el efecto de impacto se produce en la zona inicial en la que el material entra en dirección tangencial-axial (a diferencia del cilindro convencional) lo que se considera más adecuado; el material fluye hacia una zona en la que la fricción se hace más importante, trillándose entonces si no lo fue antes; no se requiere tanta velocidad de giro del cilindro, teniendo un gran aumento de superficie de cóncavo; el efecto centrífugo ayuda a la separación del grano y a la limpia posterior; la corriente de aire transporta el material hacia atrás, saliendo del cilindro separado de la paja sin necesidad de sacudidores. El sistema debe ser también más adecuado para la trilla de materiales susceptibles a daños y con alta humedad (pues regulando la velocidad de giro existe suficiente superficie de trilla para conseguir separar suavemente el grano). La comprobación de todas estas evidentes ventajas potenciales está aún pendiente.

3. SEPARACION DE LOS SACUDIDORES

La principal causa de pérdidas en la cosechadora es la del grano que se pierde con la paja expulsada por los sacudidores. Las diferencias existentes en el diseño de los sacudidores en las distintas cosechadoras ya indican una cierta indeterminación en su funcionamiento y diseño.

En los sacudidores se trata de hacer avanzar (lo más rápidamente posible) la mezcla de paja, tamo y grano manteniéndola esponjada para que el grano sea capaz de atravesarla por su propio peso y no sea arrastrado por la paja en su salida. Dispositivos que ayudan a este esponjamiento o aireación mejoran en general su eficacia. Esta no puede considerarse muy satisfactoria, pues para la separación de un bajo porcentaje de grano esperado (10% en condiciones óptimas) se requiere una gran superficie de sacudidores (5-10 veces la del cóncavo).

Por ello, el sistema de cilindro axial los sustituye totalmente por la sección trasera del mismo. Se pretende conseguir así

un efecto de separación centrífuga, más eficiente que el de la simple gravedad de los sacudidores convencionales.

Las variables que influyen son las siguientes:

- alimentación
- relación material total (o material no-grano)/grano
- longitud de la paja
- humedad de la paja
- pendiente e intensidad de vibración.

La eficiencia de los sacudidores y del sistema de limpia va a depender de las características del material con que se alimenta, procedente del sistema de trilla: proporción de grano trillado, de grano no trillado, de paja y sus características. Una alta proporción de paja muy picada dificulta considerablemente la separación y la limpia, y esto se produce en diversas situaciones: cilindro trillador de dientes; velocidad excesiva del cilindro trillador; ciertas variedades, cuya paja es frágil y humedad excesivamente baja.

4. LIMPIA

La criba superior de una cosechadora convencional realiza las operaciones de separación del grano de una mezcla de grano, paja y tamo procedente de la bandeja de grano y de los sacudidores.

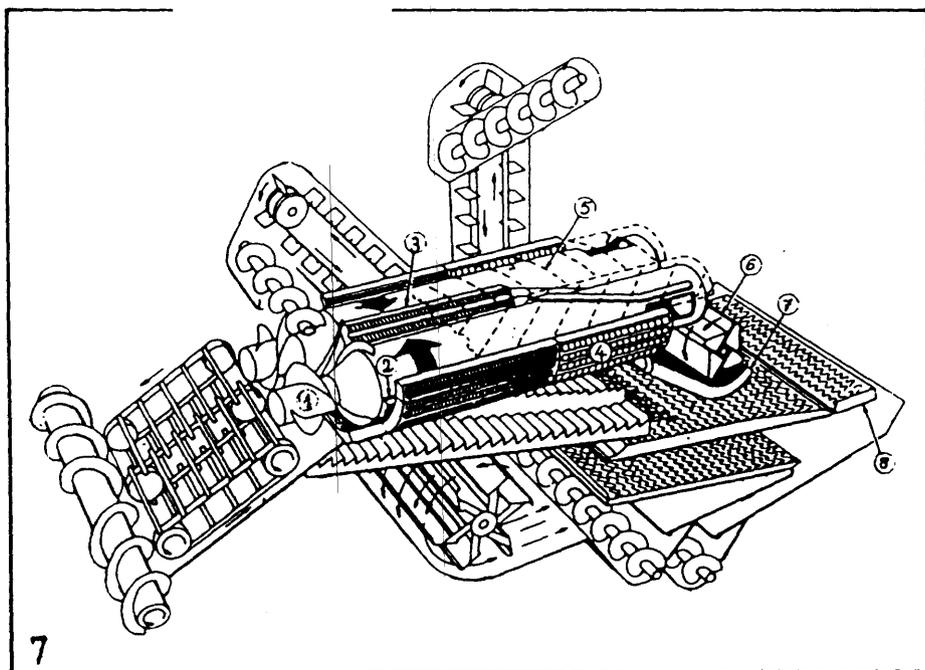
Las variables que intervienen en el proceso son: alimentación (Kg/m² de material total), distribución de la velocidad

del aire a lo largo de la criba, ángulo de las lengüetas de la criba, relación paja/tamo así como las propiedades del material: variedad (tamaño del grano, tipo de tamo y de paja) y humedad.

La limpia o separación se produce por la combinación de un movimiento oscilatorio y de un efecto aerodinámico creado por la corriente de aire en el ventilador. Ambos efectos actúan en relación a las propiedades físicas del material. La velocidad de suspensión de las distintas partículas está:

en relación directa con: su masa
en relación inversa con: su tamaño; su forma (sección recta); su rugosidad.

Es decir, cuanto menor es la masa de una partícula, y mayores son su tamaño, su rugosidad y su sección (paja y tamo), menor es la velocidad del aire que es capaz de arrastrarla. Así, todas las propiedades que influyen en estas características requieren de la regulación adecuada de la velocidad (y distribución de la velocidad) del aire en las cribas: la humedad aumenta la masa; semillas pequeñas de muy poca masa requieren baja velocidad del aire (p. ej. semilla de alfalfa); si además son rugosas, o planas, su separación por la corriente de aire será problemática (semillas de remolacha, lentejas). Estos efectos, considerados en partículas individuales, se complican al considerar el conjunto de partículas con propiedades bien distintas, es decir, la



Cosechadora de doble cilindro axial (trillador-separador). 1: sinfín de entrada al cilindro; 2: cilindro desgranador; 3: cóncavo; 4: parrilla de separación; 5: cubierta par el avance de la paja; 6: lanzapajas; 7: parrilla de separación de los últimos granos; 8: prolongación de la criba superior.

COSECHADORAS

mezcla de paja, grano y tamo. De esta manera, si la alimentación es excesivamente baja, todas las partículas tienden a ser arrastradas individualmente por la corriente de aire; si es excesivamente alta, son arrastradas en masa, la paja arrastra al grano. En ambos casos, el resultado es: pérdidas de grano.

En las cribas se utiliza el movimiento oscilante con un efecto "esponjador" de la mezcla de material, dejando paso libre a las semillas (de mayor peso) a través de las partículas rechazables. El aumento de la vibración de las cribas mejora la limpieza de los materiales, haciéndolos elevarse y avanzar en mayor medida. Existe una cierta compensación entre el efecto neumático (velocidad de la corriente de aire) y el vibratorio (amplitud y frecuencia).

La tabla 2 resume las propiedades y relaciones mencionadas a lo largo del presente trabajo.

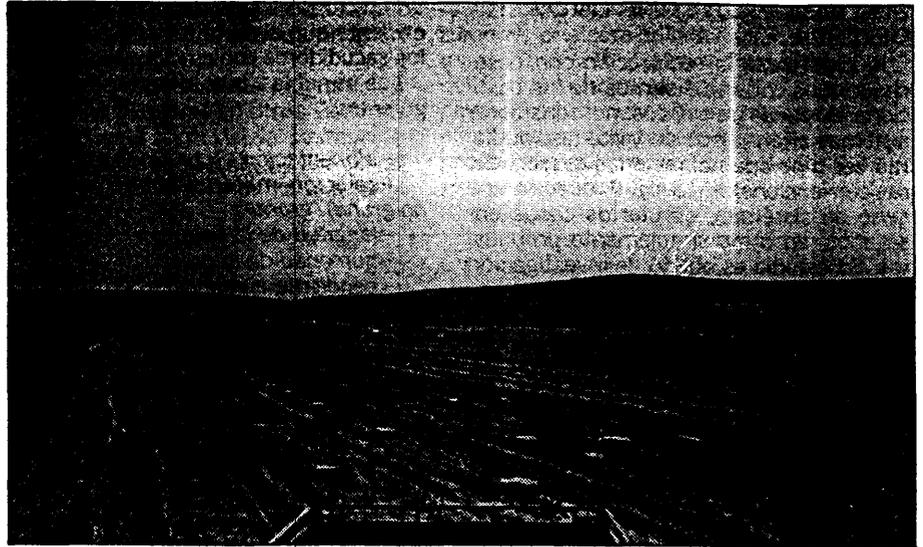


TABLA 2

PROPIEDADES FISICAS QUE INFLUYEN EN LA RECOLECCION CON
COSECHADORA DE CEREALES

Propiedad	Influyen en
Corte	
Tipo de tallo	Sistema de corte (de cabezal)
Resistencia al encamado	Regulaciones del molinete, velocidad de avance
Resistencia al corte	Velocidad de corte, vel. de avance
Humedad	Dehiscencia, pérdidas en la plataforma
Rigidez y resistencia a la fricción	Facilidad de siega sin desgranado
Trilla	
Fuerza de desprendimiento del grano	Si es muy débil, pérdidas en la siega; facilidad de trilla; separación fund. en el cóncavo Si es muy fuerte, separación cilindro-cóncavo; trilla por fricción
Fragilidad de la paja	Picado en el cilindro desgranador, velocidad de giro
Humedad	Dificultad de trilla
Tamaño del grano	Separación cilindro-cóncavo; tapado de cóncavo; tapado de cilindro desgranador
Resistencia a la rotura por impacto	Daños a los granos; menor en granos muy secos
Resistencia a la rotura por compresión	Daños a los granos; menor en granos húmedos
Limpia	
Masa, tamaño, forma y rugosidad del grano	Velocidad del aire del ventilador, apertura cribas, amplitud y frecuencia de vibrado
Masa, tamaño, forma y rugosidad de la paja	Velocidad del aire del ventilador; dirección del aire del ventilador
Proporción de grano y paja y dimensiones de ésta	Pérdidas de grano; alimentación (Kg/min, velocidad de avance) amplitud y frecuencia de vibrado

BIBLIOGRAFIA

- Hunt, D. Farm power and machinery management. Iowa State Univ. Press. 1979.
- Ortiz-Cañavate y cols. Las máquinas agrícolas y su aplicación. Mundi-Prensa, 1980.
- Huynh et al. 1982. Threshing and separating process: a mathematical model. Transactions of the ASAE 25 (1): 65-73.
- Griffin G.A. 1973. Combine Harvesting. Fundamentals of Machine Operation. J.D. Service Publications.
- Segler, G. y T. Freye, 1977. Vibro-pneumatic separation of straw, grain and chaff. Grundlagen der Landtechnik 27 (4): 101-108.