

COSECHA DE GRANOS



JUAN MANUEL VAZQUEZ

2019

INDICE	
SEGURIDAD EN EL USO DE LA COSECHADORA.....	5
CABEZAL CONVENCIONAL CON MOLINETE.....	6
MOLINETE	7
Descripción y funcionamiento.....	7
Dientes:.....	8
Numero de barras.....	8
Diámetro del molinete.....	8
Accesorios para recoger cultivos ralos.....	8
Regulación.....	9
BARRA DE CORTE.....	10
Descripción.....	10
Cinemática del corte.....	11
Altura de corte.....	13
Dientes de la cuchilla.....	14
Desgaste de las cuchillas.....	14
SINFÍN.....	15
Regulaciones:.....	15
BARRA DECORTE FLEXIBLE FLOTANTE.....	16
Barra de corte flotante y control automatico de altura del cabezal.....	16
Barra de corte flexible.....	16
Autonivelante automático.....	16
CABEZALES DE LONAS O DRAPER.....	17
Sistema de copiado del terreno.....	17
Ruedas estabilizadoras.....	17
Entrega del cultivo al acarreador.....	18
CABEZAL MAICERO.....	19
Descripción y funcionamiento.....	19
Triturador de tallo.....	20
Control de posición del cabezal.....	21
Cabezales para cosechar al sesgo o con distintas distancias entre surcos.....	22
Regulaciones.....	23
Velocidad de avance.....	23
Cadenas recolectoras.....	23
Rolos espigadores.....	23
Placas espigadoras.....	24
Disposición de los dedos de las cadenas recolectoras.....	24
Inclinación del cabezal.....	24
Cosecha de cultivos volcados.....	24
CABEZAL GIRASOLERO.....	25
CABEZAL STRIPER (desgranador).....	26
Regulación del régimen del rotor o molinete.....	26
Regulación de la altura del capot.....	26
Desempeño de la cosechadora con cabezal striper.....	26
CORTE HILERADO.....	27
Corte hilerado.....	27

Recolección de la andana	27
SISTEMA DE ALIMENTACION (acarreador o embocador)	28
Velocidad del acarreador	28
Fácilmente ajustable	28
SISTEMA DE TRILLA.....	29
Descripción	29
Funcionamiento	30
Parámetros de evaluación del sistema.....	30
Factores condicionantes	31
Cilindro de dedos	32
SISTEMA DE SEPARACIÓN	33
Separación con sacapajas.....	33
Factores que inciden en la capacidad de separación del sacapajas	34
La velocidad de flujo del material	34
Régimen de rotación del sacapajas	35
Radio de giro del cigüeñal	35
Ángulos de grillas y saltos	35
El largo del sacapajas y la cantidad de saltos.....	35
Elementos que aumentan la capacidad de separación del sacapajas	36
Separación centrífuga	37
SISTEMA DE LIMPIEZA	38
Ventiladores	40
SISTEMA DE RETRILLA	41
Regulación	41
SISTEMA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE COSECHA	42
TRANSMISION.....	44
Transmisión con correa y polea variadora	44
Transmisión hidrostática	45
Transmisiones ramificadas	45
COMPACTACIÓN DEL SUELO	46
PÉRDIDAS POR COSECHA	48
Metodología de medición de pérdidas del INTA PRECOP	49
Medición de pérdidas solo con aros (soja, trigo, cebada):	49
Repeticiones	50
Medición de pérdidas en Maíz.....	50
Medición de pérdidas en Girasol y Sorgo.....	51
Tolerancias	51
Datos de pérdidas a nivel país	51
Ejemplo de medición de pérdidas en el cultivo de soja.....	53
Comparación del nivel de pérdidas medido con la tolerancia	53
Análisis de la distribución de pérdidas	54
Análisis de las causas y posibles soluciones	54
ANEXO 1: EVOLUCIÓN DE LAS COSECHADORAS AXIALES AXIAL	55
ANEXO 2: CLASIFICACIÓN DE COSECHADORAS	57
ANEXO 3: ANALISIS DE PARÁMETROS DE COSECHADORAS DISPONIBLES EN ARGENTINA.....	59

Cabezales	60
Neumáticos	60
REFERENCIAS	61

SEGURIDAD EN EL USO DE LA COSECHADORA

En los procesos mecanizados de cosecha de granos se interactúa habitualmente con máquinas que conllevan el riesgo de accidentes de diferente gravedad. Muchos de los accidentes durante la operación de cosechadoras son a causa de ser embestidos por la misma, ser atrapado por la máquina en funcionamiento mientras se trata de desatorarla, caídas desde la cosechadora o resbalar sobre la misma.



Fig. 1 Accidentes que se pueden producir al trabajar con cosechadoras (Yanmar 2016).

Algunos aspectos a tener en cuenta para reducir accidentes o problemas de salud asociados al uso de estas máquinas.

- Realizar una revisión completa del equipo para su mantenimiento antes de la campaña evita accidentes.
- Evitar reponer combustible antes de que el equipo se haya enfriado.
- Tener siempre el equipo contra incendios controlado y accesible.
- Realizar las tareas de mantenimiento diarias antes de comenzar la jornada cuando no se está cansado, con la llave de arranque en el bolsillo para asegurarse que nadie encienda el equipo mientras se está trabajando en el mantenimiento del mismo.
- Las pérdidas de líquido hidráulico a alta presión pueden provocar serios problemas médicos. No exponer las manos al revisarlas. Utilizar piezas de cartón, metal o madera.
- Utilizar trabas mecánicas (no solo hidráulicas), para realizar ajustes y reparaciones debajo del cabezal.
- Respetar las normas que rigen el traslado de las máquinas agrícolas en vías de transporte.
- Tener especial cuidado en que la cosechadora (particularmente el sinfín de descarga), no haga contacto con cables aéreos de electricidad.
- En caso de que la cosechadora tenga que retroceder, asegurarse de que no haya nadie. Los espejos retrovisores deben mantenerse adecuadamente.
- En caso de tener que desatorar la cosechadora, se la debe apagar y retirar la llave de arranque. Nunca utilizar manos o pies para desatorarla.
- La exposición continua a polvo en el aire y el ruido puede terminar afectando las vías respiratorias y auditivas. Se debe valorar una cabina de mando que reduzca la exposición a estos factores.
- Frenar y girar con precaución en terrenos con pendiente.
- Revisar regularmente que no se acumule paja o granza sobre el motor, correas o poleas.
- No trabajar con ropa suelta que pueda ser atrapada por mecanismos móviles.
- No permitir jugar a los niños en el entorno de la cosechadora.
- No trepar a la cosechadora sin una escalera en donde se pueda resbalar.
- Siempre prestar atención a los adhesivos de seguridad.



Fig. 2 Adhesivos de seguridad.

CABEZAL CONVENCIONAL CON MOLINETE

El cabezal convencional está compuesto por una barra de corte, un molinete y un sinfín, montados sobre una plataforma. El cabezal avanza sobre el cultivo, cortándolo por cizalla con una barra formada por cuchillas que se desplazan alternativamente a ambos lados y puntones fijos que actúan como contracuchillas. Un molinete de barras con dientes gira en el sentido de avance, sostiene el cultivo durante el corte y luego lo desplaza dentro del cabezal. El cultivo segado en todo el ancho del cabezal es transportado hasta el centro por un sinfín que en su parte central presenta dientes retractiles que fuerzan el cultivo dentro de la cosechadora.

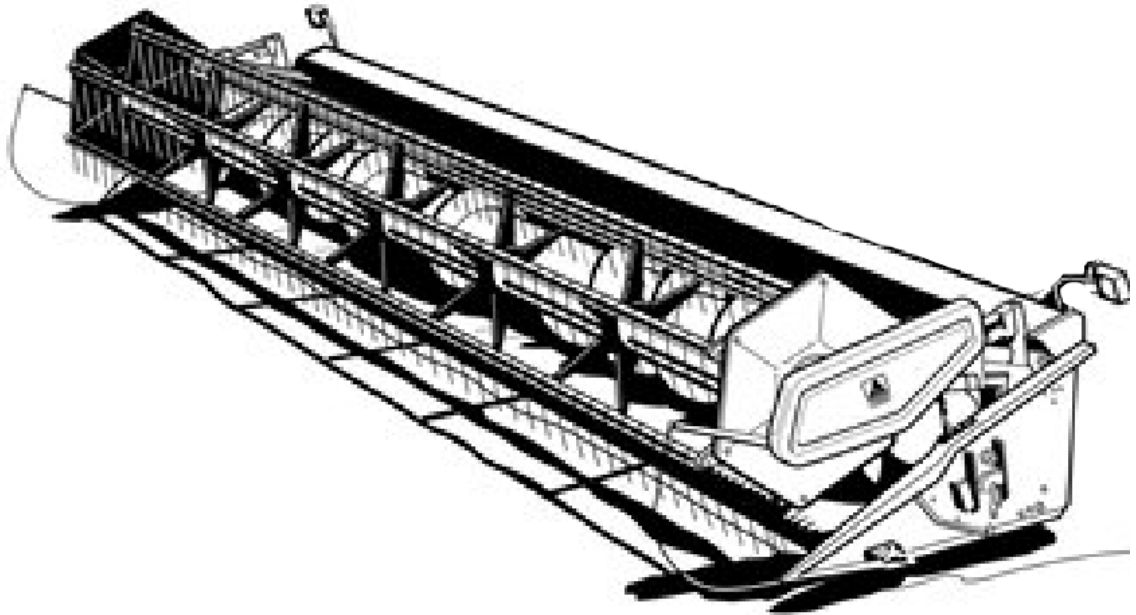


Fig. 3 cabezal convencional con molinete.

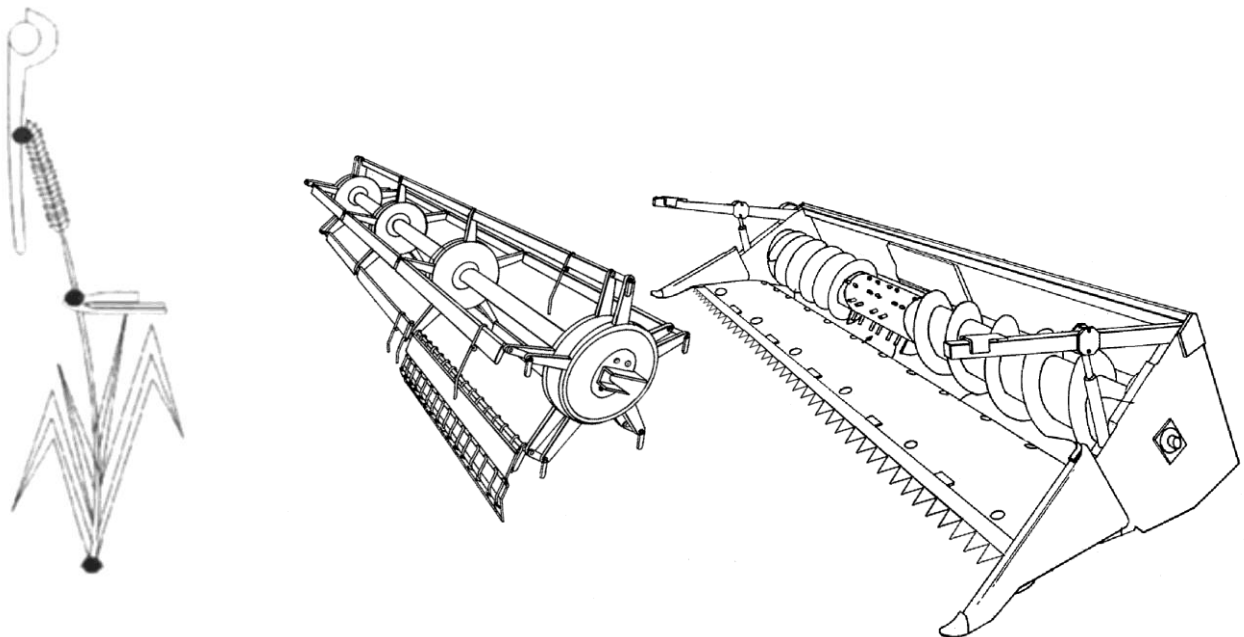
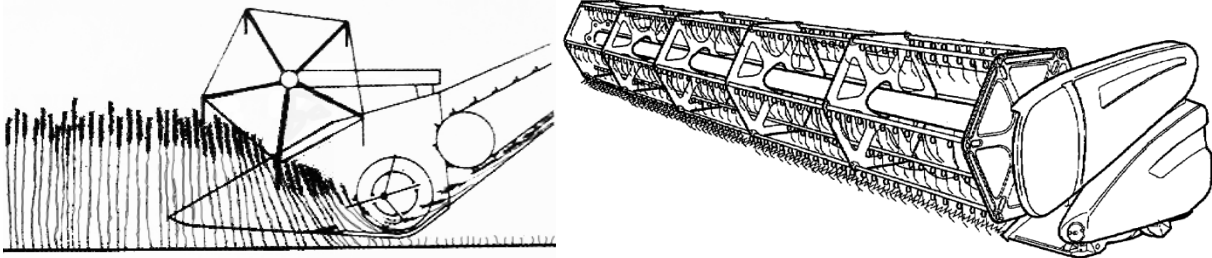


Fig. 4 se observa el cabezal. El molinete se presenta separado a la derecha para poder visualizar el sinfín. En el extremo derecho se observa como la planta anclada en el suelo, tiene un punto de apoyo en el molinete para no volcarse hacia delante mientras es cortada por la barra de corte.

MOLINETE

Descripción y funcionamiento

El molinete está compuesto por una serie de barras que giran alrededor de un cilindro al que van unidos por rayos. Las barras penetran en la parte superior del cultivo y lo arrastran hacia la cosechadora, primero sosteniéndolo mientras los cortan las cuchillas y luego desplazándolo hasta el sinfín. Sobre las barras van dispuestos dientes que son sumamente útiles para poder levantar el cultivo cuando esta volcado (Hanna & Quick 2007).



molinete

Las barras y dientes del molinete deben desplazarse en sentido contrario al avance de la cosechadora para poder desplazar el cultivo cortado hasta el sinfín. Para que se cumpla esta condición, la velocidad de giro del molinete debe ser mayor a la velocidad de avance de la cosechadora. El cociente entre estas dos velocidades se conoce como índice de molinete, y debe ser mayor a 1 para que se cumpla la condición mencionada (Fig. 5):

$$\text{Índice de Molinete} = \frac{\text{Velocidad tangencial del molinete}}{\text{Velocidad de avance de la cosechadora}}$$

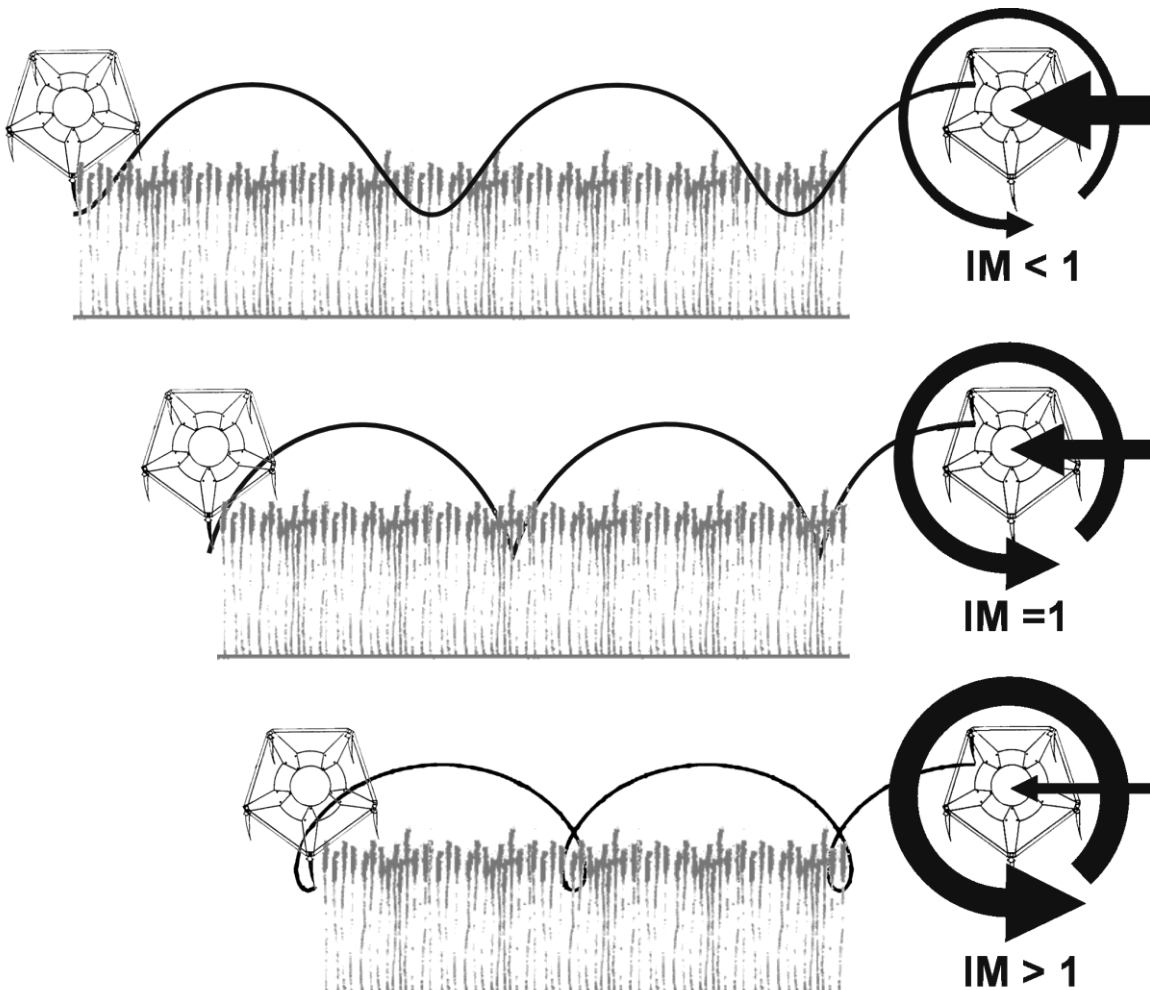


Fig. 5 recorrido de un diente del molinete con diferentes índices de molinete.

Dientes:

En un cultivo normal, los dientes de los molinetes deben penetrar en el cultivo en posición vertical para hacerlo con la mínima resistencia, generando la menor alteración. Luego deben desplazarse hacia atrás manteniendo esa posición vertical para acompañar el cultivo cortado hasta el sinfín. Finalmente deben ascender en posición vertical para no impactar con el sinfín. Para mantener la misma posición durante todo este recorrido, tradicionalmente se ha recurrido a molinetes de dientes paralelos unidireccionales (Fig. 6). Este diseño generaba una zona triangular (en la figura sombreado de gris), donde el cultivo ya no era acompañado por los dientes y para llegar hasta el sinfín debía ser empujado por el cultivo cortado a continuación. Esto genera que con cultivos de escaso desarrollo vegetativo el ingreso del cultivo al sinfín se torna irregular. Los molinetes orbitales fueron diseñados para superar esa dificultad, al orientar los dientes hacia el sinfín, durante la entrega del cultivo (Fig. 6).

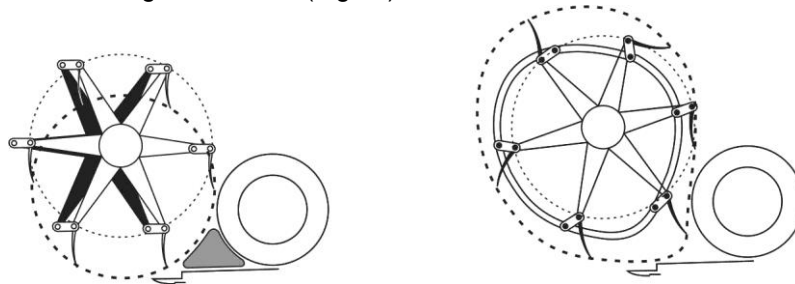


Fig. 6 a) molinete de dientes paralelos unidireccionales b) molinete de dientes orbital.

Numero de barras

Cuanto mayor es el número de barras más continuo y uniforme es el ingreso del cultivo al sistema de trilla. Por otra parte el numero de barras no debería ser mayor a seis en cereales de invierno, para evitar que al penetrar en el mismo, agiten demasiado el cultivo provocando desgrane (Gach & Pintara, 2003). Bragachini & Casini (2005), recomiendan el uso de molinetes de seis barras en cultivos de soja de menor desarrollo vegetativo y de cinco barras en los de mayor desarrollo porque permiten un fácil ingreso del material con mayor desalojo.

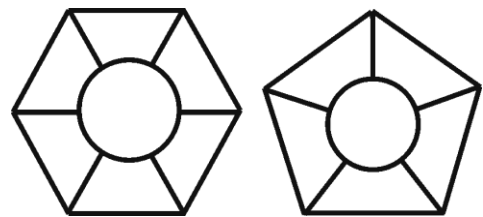


Fig. 7 molinetes de seis y cinco barras

Diámetro del molinete

El diámetro del molinete no es un parámetro que influya significativamente en el trabajo de cosecha, siendo generalmente de un metro de diámetro (Gach & Pintara, 2003). Sin embargo un mayor diámetro de molinete en cultivos de gran desarrollo, puede facilitar la penetración de las barras y dientes. El diámetro suele variar entre 1,016 metros (40 pulgadas) en los cabezales con sinfín y 1,65 metros (65 pulgadas) en los cabezales con lonas (Miu 2015).

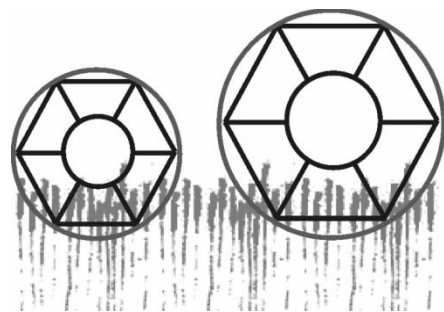


Fig. 8 influencia del diámetro.

Accesorios para recoger cultivos ralos

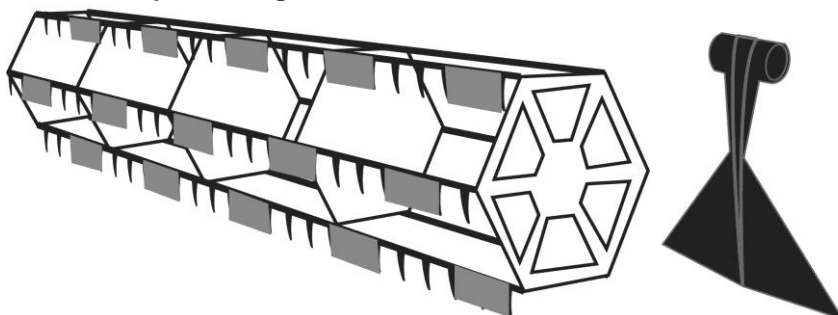


Fig. 9 molinete con lonas para cultivos ralos (izq) paleta acoplable (der).

En el caso de cosechar cultivos ralos, es probable que las plantas no puedan ser tomadas por los dientes del molinete. En ese caso se colocan en las barras del molinete, suplementos de lona o paletas plásticas.

Regulación

Según la condición del cultivo, se realizarán las siguientes regulaciones:

- índice de molinete: como se indicó siempre debe ser mayor que 1 y no superar 1,5 (Fig. 11).
- altura del molinete: se lo baja en cultivos volcados en el sentido de avance y con cultivos bajos. Se eleva en cultivos de mayor desarrollo en altura.
- avance del molinete: la posición normal es ligeramente por delante de la barra de corte. Se adelanta en cultivos volcados en el sentido de avance y se lo retrasa con cultivos bajos.
- ángulo de los dientes: siempre verticales, excepto para cultivos volcados.

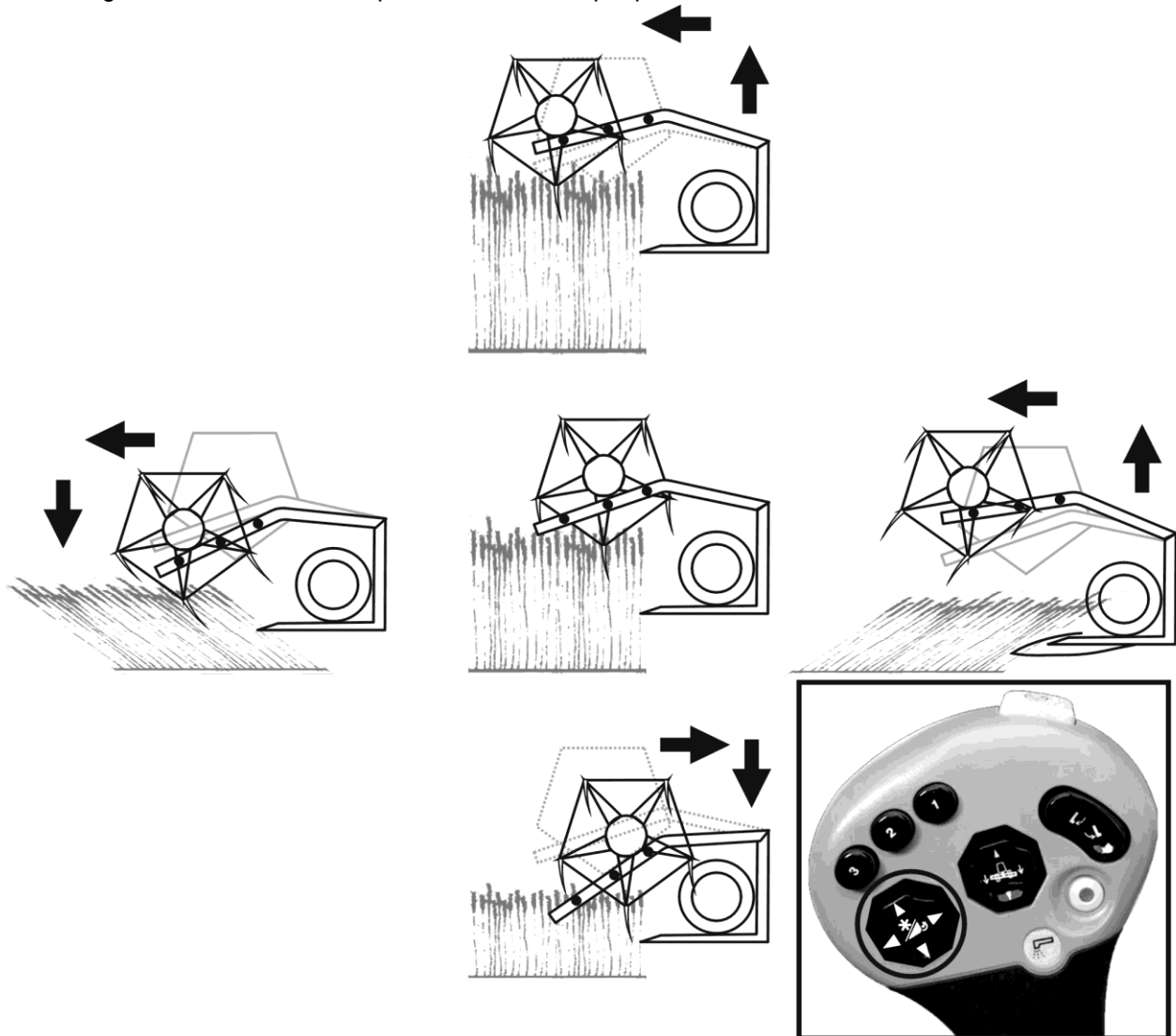


Fig. 10 Regulación de la posición del molinete según el estado del cultivo. En el recuadro se observa la palanca de mando de la cosechadora, resaltado el comando para realizar dichas regulaciones.

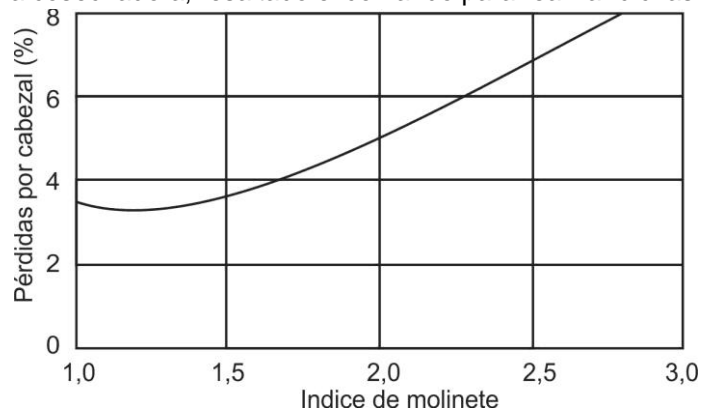


Fig. 11 Pérdidas de cosecha por cabezal a diferentes índices de molinete. Las pérdidas se incrementan exponencialmente por encima de un índice de molinete de 1,5 (Hunt & Wilson, 2015).

BARRA DE CORTE

Descripción

La barra de corte es el mecanismo encargado de segar el cultivo. Consta de una serie de cuchillas con filo dentado que se desplazan alternativamente en forma transversal al sentido de avance y cortan por cizalla contra el filo de unos puntones que están fijos. Los puntones además son más robustos que las cuchillas, protegiendo la barra de golpes. El diseño de los puntones deja un espacio por donde se desplazan las cuchillas (Fig. 12). Para que la cuchilla pueda realizar un corte limpio, el puntón debe presentar un borde cortante en la parte inferior por lo que todas las cuchillas se disponen con la cara afilada hacia abajo y un sujetador que presiona las cuchillas hacia abajo para que no se separen del filo de los puntones. En la Fig. 12 a la derecha se observa otro diseño de barra de corte donde los puntones presentan filo tanto en los bordes superior e inferior. En estos casos las cuchillas se disponen con las caras afiladas hacia arriba y hacia abajo alternativamente (Fig. 12 abajo derecha). La ventaja de este sistema reside en que se compensan las fuerzas verticales que se ejercen sobre las cuchillas al momento del corte (Newhall, 1982). La parte posterior de las cuchillas siempre se apoya sobre una placa de desgaste que se va erosionando con el rozamiento de las cuchillas durante su operación. En algunas barras de corte, la parte posterior de las cuchillas se apoya sobre unas ruedas (Fig. 12 derecha), que limitan su desplazamiento vertical y disminuyen la fricción y el desgaste (Schumacher & Schumacher, 2014).

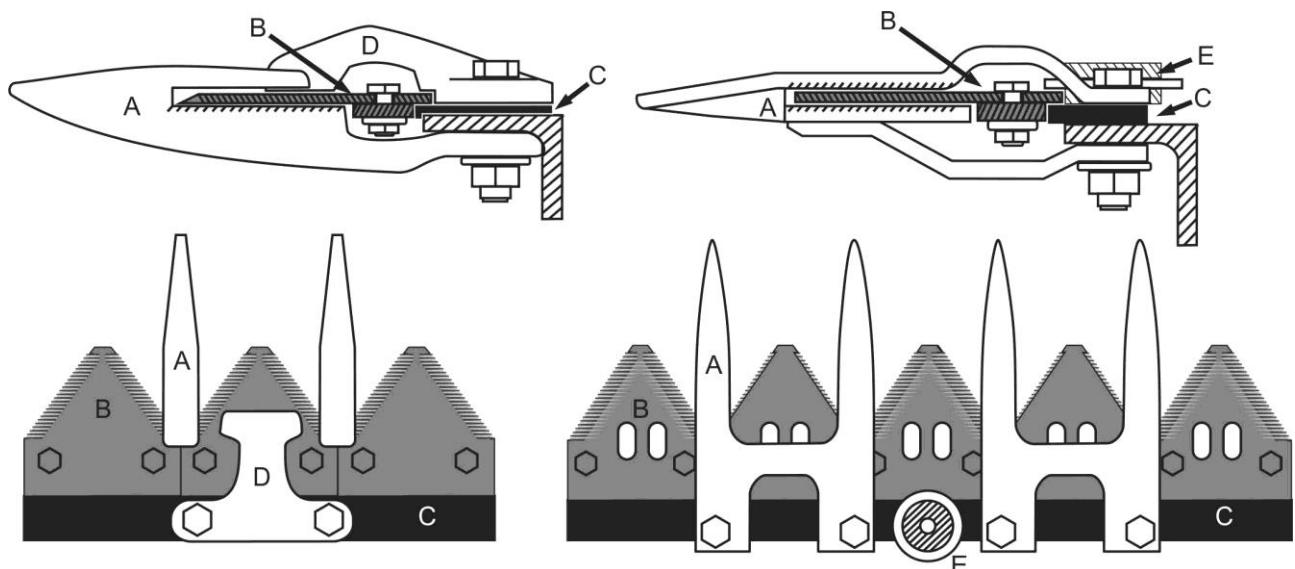


Fig. 12 Diferentes diseños de barras de corte que se pueden encontrar en las cosechadoras. A la izquierda una barra de corte de diseño convencional y a la derecha una barra de corte Schumacher. Arriba en vista lateral y abajo en vista superior. A) puntón, B) cuchilla, C) placa de desgaste, D) prensacuchilla, E) rueda.

Para lograr un corte limpio y evitar un excesivo desgaste y/o demanda de potencia, es importante que las cuchillas y los puntones mantengan una separación pero esta no debe ser mayor a 0,3 mm (Miu, 2015).

Algunas cuchillas presentan orificios internos para reducir el peso de la barra de corte (Fig. 12).

Otra característica de las barras de corte son:

- El ancho de las cuchillas.
- La separación entre puntones.
- La carrera o distancia por la que se desplaza una cuchilla.

Generalmente las barras de corte son del tipo 3x3x3 (carrera, cuchillas y separación entre puntones, todos de 3 pulgadas). Existen también barras de pazo angosto (3x3x1,5 y 3x1,5x1,5), recomendadas para cosechar el cultivo de soja porque producen menos pérdidas al sacudir menos las plantas (Quick, 1974). A pesar de sus ventajas, no se ha difundido el uso de las barras de pazo angosto (3x3x1,5 y 3x1,5x1,5) y solo en las últimas décadas un fabricante comenzó a fabricar sus cabezales con barras de corte con el sistema 4x2x2 (Fig. 13). Está última presenta fundamentalmente el mismo comportamiento que el sistema 3x1,5x1,5, debido a que ambas se diferencian del resto en que las cuchillas tienen un ancho igual a la separación entre puntones y la mitad de la carrera de desplazamiento. La ventaja adicional que presenta el sistema 4x2x2 es que la mayor separación entre puntones respecto del sistema 3x1,5x1,5 reduce el riesgo

de que en lotes en siembra directa la presencia en el rastrojo de tallos de maíz gruesos puedan atorarse entre los puntones impidiendo que esa sección pueda seguir cortando el cultivo a cosechar.

Sistemas de corte

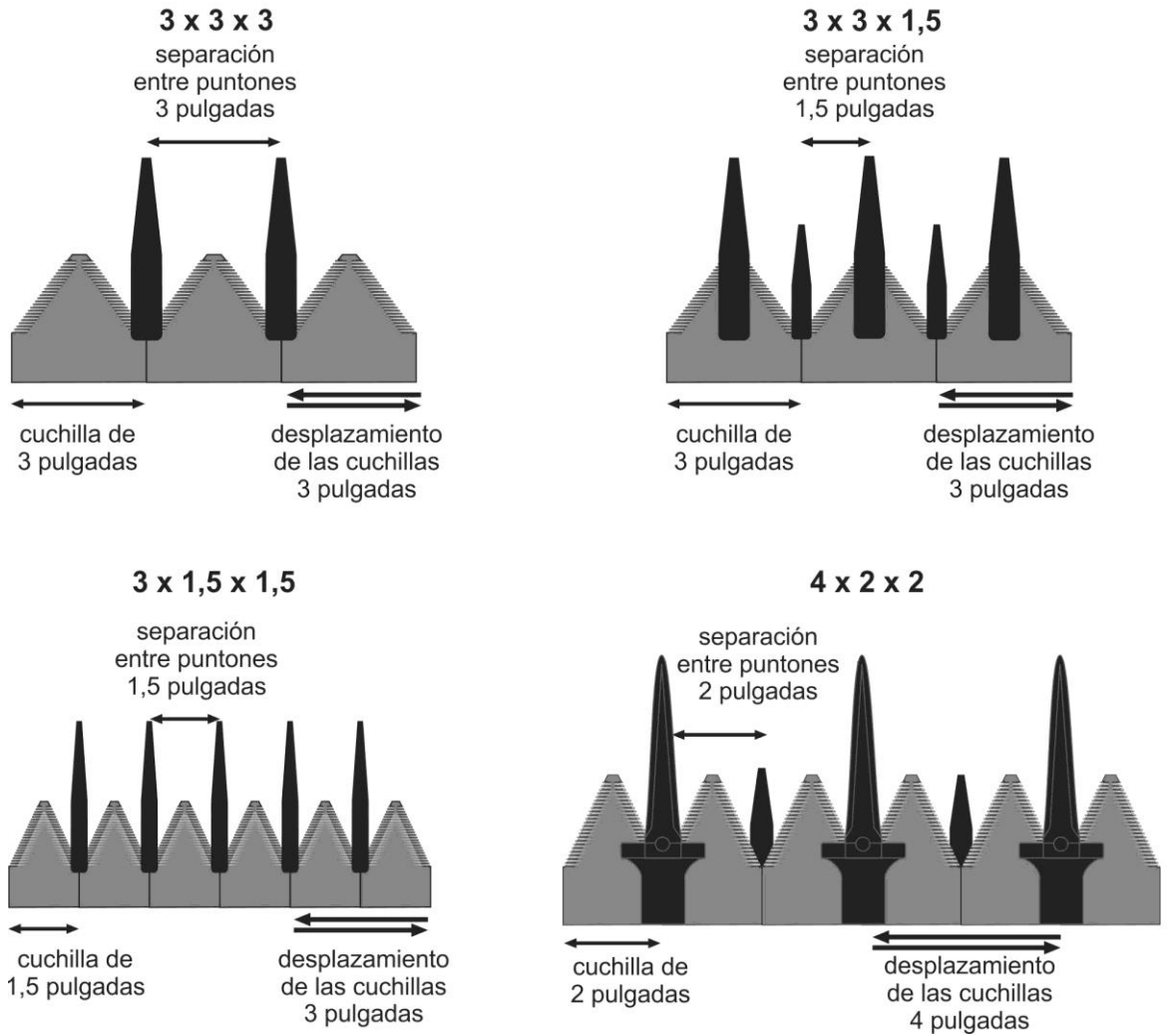


Fig. 13 Barras de corte convencionales y de paso angosto.

Cinemática del corte

Como se observa en la Fig. 14, la porción del cultivo que queda comprendida en el ir y venir de la cuchilla, va a ser cortada contra el filo del puntón. Desde que la cuchilla encuentra cada planta hasta que es cortada contra el puntón, la planta es desplazada inclinándola, por lo que se sacude con pérdida de granos.

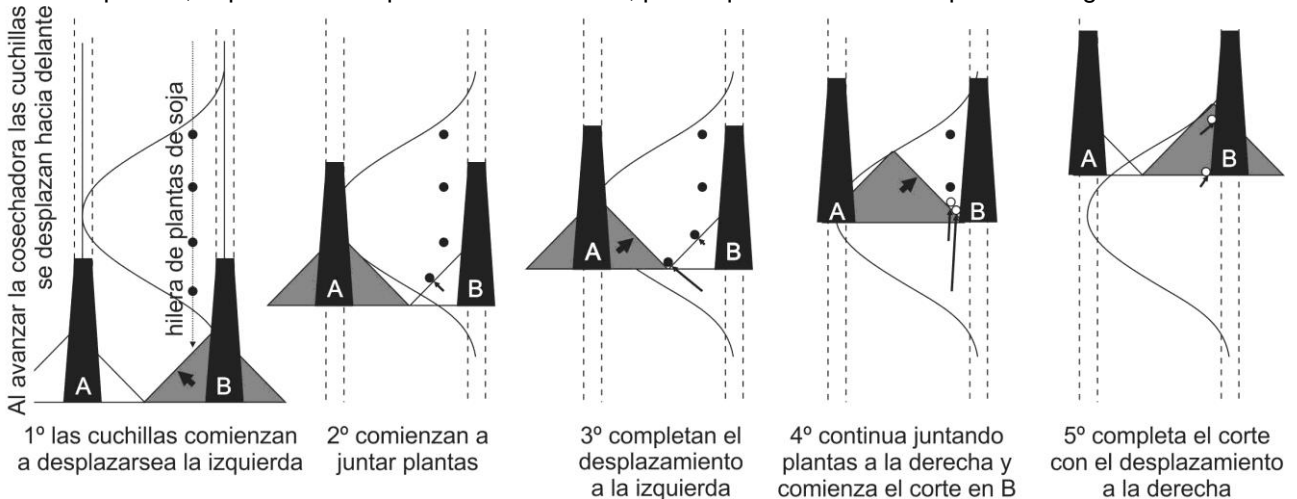


Fig. 14 Cinemática del corte con una barra de 3x3x3.

La relación entre la velocidad de desplazamiento lateral de las cuchillas y la velocidad de avance de la

cosechadora, queda plasmada en el índice de corte que no tiene unidades (Fig. 15)

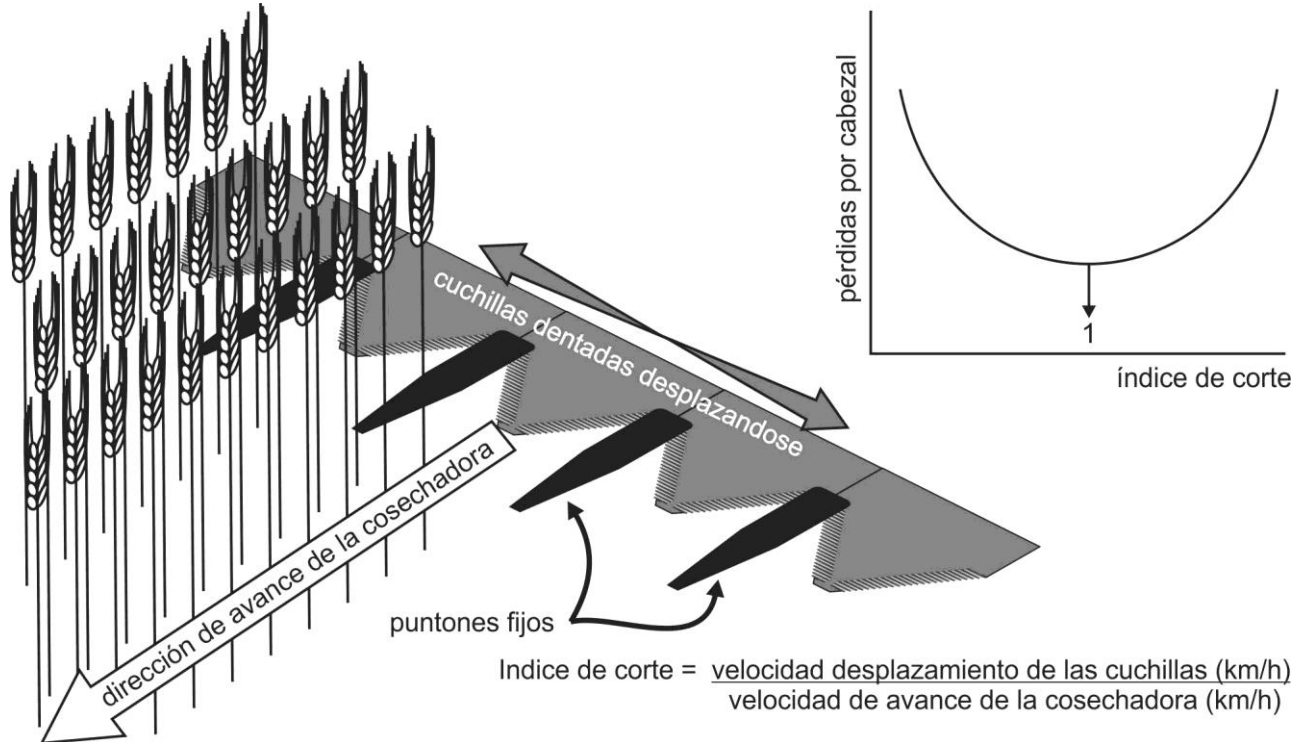


Fig. 15 Índice de corte. Las pérdidas del cabezal en el cultivo de soja se reducen con índices de corte cercanos a 1 (Quick, 1972).

Quick (1972), encontró que con índices de corte cercanos a 1 se reducían las pérdidas por cabezal. A mayores índices de corte el impacto de la cuchilla contra las plantas, eleva significativamente las pérdidas por desgrane. Por otra parte a menores índices de corte, las cuchillas avanzan una distancia mayor antes de cada corte, provocando una mayor inclinación de las plantas y el aumento de las pérdidas por desgrane. En general la barra de corte suele ser accionada entre 500 y 600 rpm en la mayoría de los cabezales, por lo que las pérdidas suelen ser más bajas a velocidades cercanas a los 5 km/h. Se recomienda que la velocidad de cosecha no supere los 7 km/h (Bragachini & Casini, 2005). En la Fig. 16 se observa el efecto de dos velocidades de avance sobre las pérdidas por desgrane.

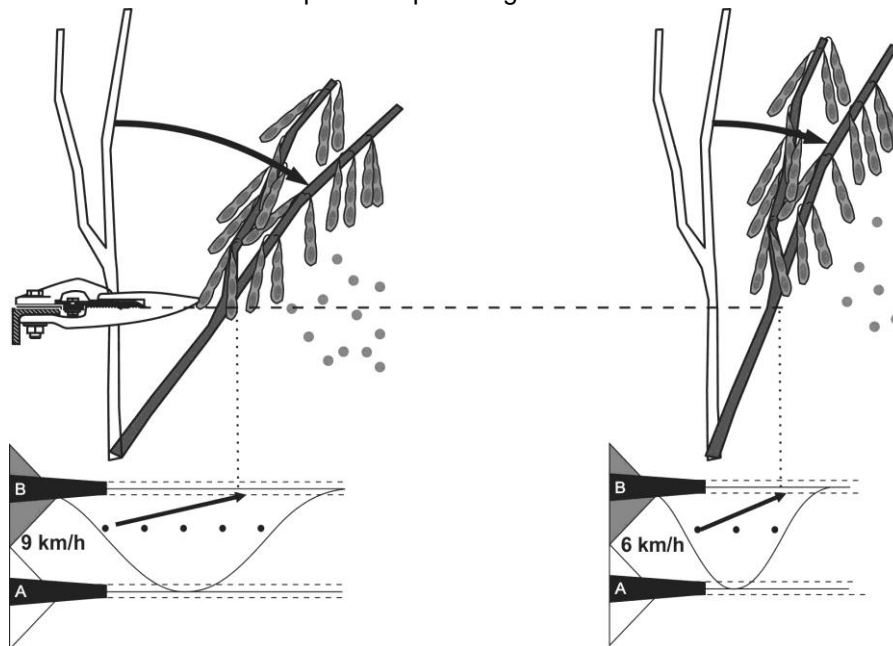


Fig. 16 El aumento de la velocidad de avance incrementa la distancia que se desplaza una planta hasta que es cortada, provocando una mayor inclinación de la misma y un aumento de pérdidas de granos. Las barras de corte de paso angosto reducen las pérdidas por desgrane porque al recorrer una distancia

menor para realizar el corte, reducen la inclinación de las plantas (Fig. 17).

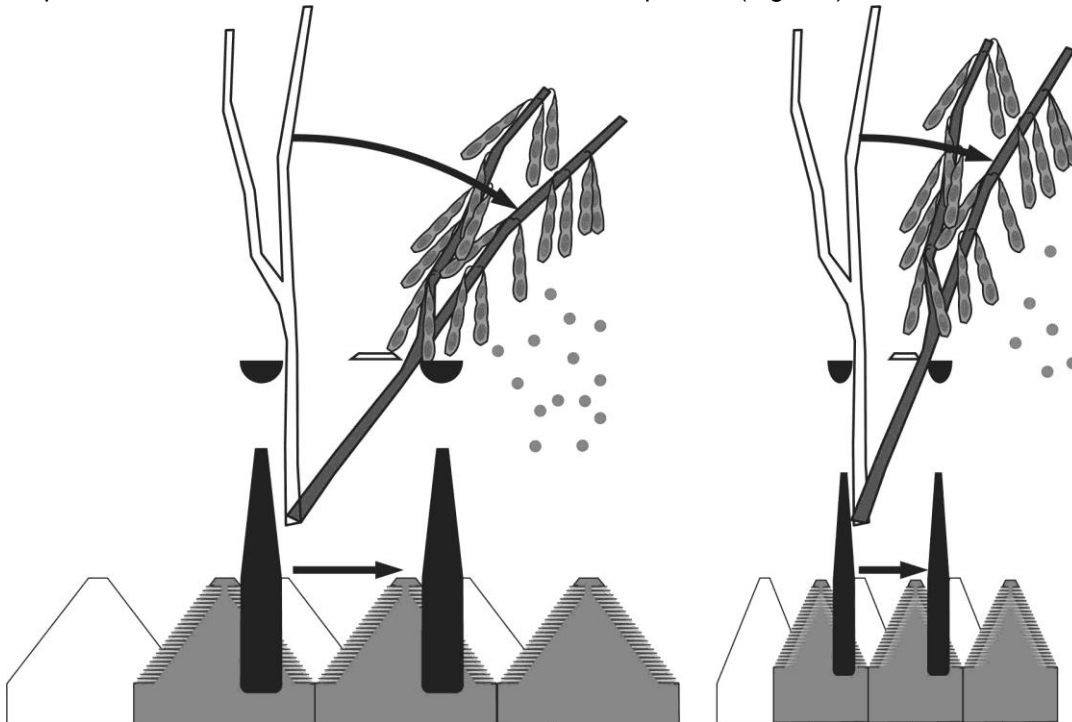


Fig. 17 Las barras de corte de paso angosto recorren una distancia menor para realizar el corte, provocando un menor ángulo de inclinación en las plantas y reduciendo las pérdidas de granos en el cultivo de soja.

Altura de corte

La barra de corte debe regularse para segar el cultivo en la base de los granos más bajos. Particularmente en cultivos como trigo y otros cereales de invierno, realizar el corte muy por debajo de esta posición aumentaría el porcentaje de paja que ingresa a la cosechadora, dificultando la trilla y separación, pudiendo incrementar las pérdidas de grano por la cola de la maquina. En cultivos como la soja que tienen vainas casi hasta la base, el cabezal deberá ser flotante para cortar el cultivo cerca del suelo y por lo tanto flexible para copiar las irregularidades del terreno. Debe tenerse en cuenta que un corte muy cerca de la superficie puede inclinar excesivamente el cultivo, incrementando las pérdidas por desgrane ().

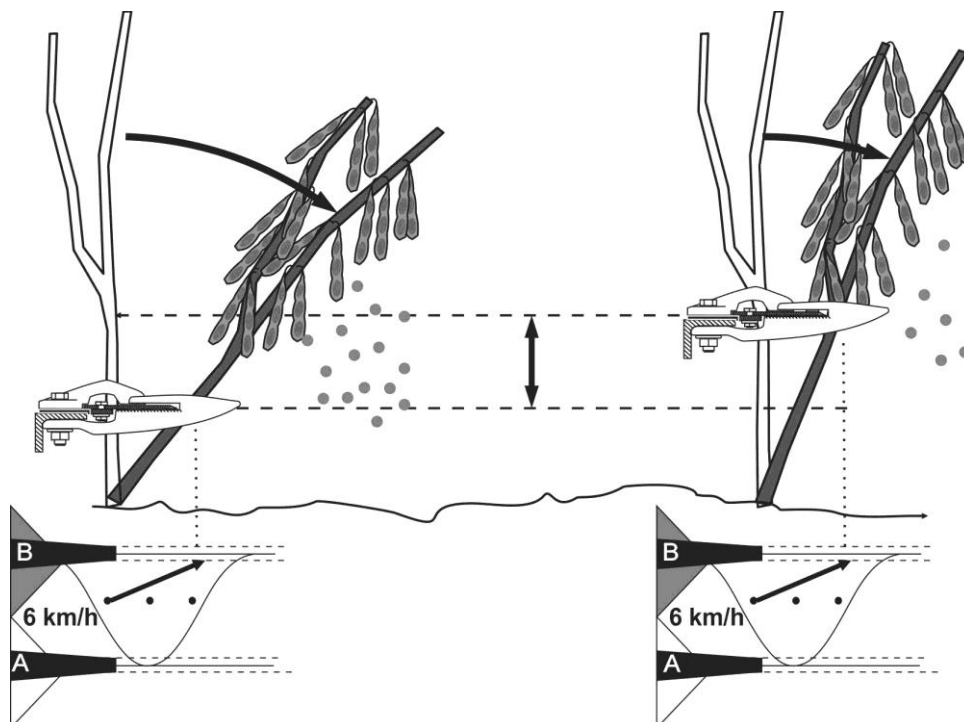


Fig. 18 Una altura de corte demasiado baja puede aumentar las pérdidas por desgrane en el cultivo de soja.

Dientes de la cuchilla

Las cuchillas pueden presentar distintos tamaños y cantidad de dientes en el filo. Las de dientes gruesos son más resistentes al desgaste y por lo tanto más adecuadas para cosechar cultivos de tallos más gruesos o cerca del suelo donde el contacto con este erosiona el filo más rápidamente. Ej. Soja, trigo, cereales de invierno, colza. Etc. Las cuchillas con dientes más pequeños son más adecuadas para cultivos de tallos finos como pasturas, reduciendo la fuerza necesaria para el corte.

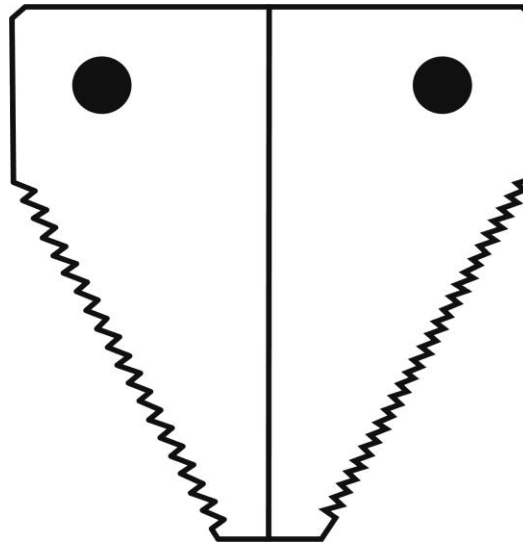


Fig. 19 Izq. Cuchilla con dientes gruesos. Der. Cuchilla con dientes finos (modificado de MacDon, 2017).

Desgaste de las cuchillas

Las cuchillas y los puntones van sufriendo desgaste con el uso, provocando un deterioro en la calidad del corte. Esto aumenta la fuerza demandada para el corte y fundamentalmente aumenta las pérdidas de granos. Los factores que condicionan el desgaste y la duración de las cuchillas son: 1) el tipo de acero y el tratamiento de las cuchillas condicionan su dureza y resistencia a la abrasión, 2) el tipo de cultivo a cosechar (por ej. el arroz que provoca un desgaste más intenso), 3) la altura de corte debido a que al cosechar al ras del terreno como en soja, se expone el filo al desgaste con tierra, 4) la textura del suelo ya que si el suelo es arenoso aumenta el desgaste.

A modo orientativo se recomienda cambiar las cuchillas luego de recorrer 500 km cosechando (Giordano et al., 2007). Por ejemplo un cabezal de 10 metros de ancho luego de recorrer 500 km, habrá cosechado 500 has. De todos modos no debe dejar de hacerse una inspección visual y al tacto del filo (Fig. 20). En el caso de los puntones también se produce desgaste, pero la duración de los mismos puede extenderse de 2 a 3 veces respecto a las cuchillas. A medida que las cuchillas se van desgastando se debe controlar y ajustar el prensacuchillas (sapito), para evitar que dejen una excesiva luz entre los filos, permitiendo el “mascado” de los tallos.

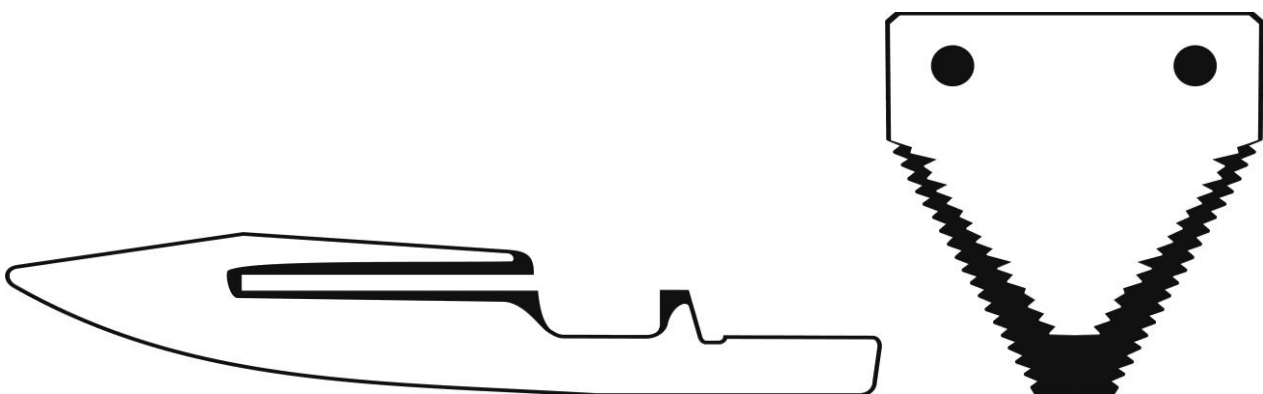


Fig. 20 Se observa en color negro el desgaste que van sufriendo los puntones y cuchillas con el uso. Una vez alcanzado el desgaste que se observa en la figura no se debería postergar el recambio (modificado de MacDon, 2017).

SINFÍN

El sinfín toma el cultivo segado en todo el ancho de la barra de corte y lo traslada al centro, donde lo introduce en el sistema de alimentación mediante dedos retractiles. La tendencia es que los sinfines tengan 400 mm de diámetro de tambor y 130 mm de alas a cada lado, completando un diámetro de 660 mm (Bragachini & Casini, 2005). Ensayos realizados con diámetros de sinfines desde 220 a 560 mm permitieron medir que cuanto mayor es el diámetro del sinfín, más uniforme es el ingreso del cultivo al sistema de trilla, menor la demanda de potencia y se reducen la perdidas de granos por cola (Gach & Pintara, 2003).

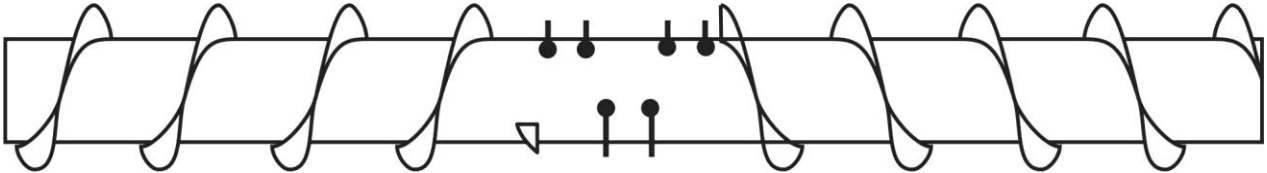


Fig. 21 esquema de un sinfín.

En la actualidad los sinfines no solo disponen de dientes retractiles en su parte central, sino en todo su ancho. Esto se debe a que el constante incremento del ancho de los cabezales llevó a la imposibilidad de trasladar el cultivo apoyado en su parte frontal, por lo que al contar con dientes retractiles en todo su ancho, estos introducen el material debajo del sinfín, aumentando la capacidad de transporte. También al disponer de dientes en todo su ancho, el molinete es requerido en menor medida para desplazar el cultivo hasta el sinfín, pudiendo regularse el molinete de forma menos agresiva, reduciendo las perdidas (Bragachini & Casini, 2005). Si los dientes retractiles son demasiado largos pueden sacudir excesivamente el cultivo provocando pérdidas (Doug & Biehl, 1994).

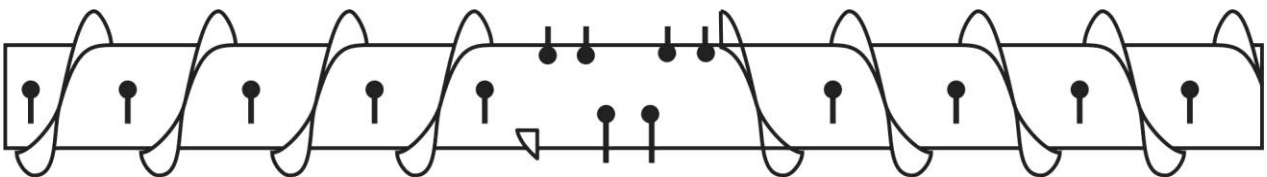


Fig. 22 dedos retractiles en todo el ancho del sinfín.

Regulaciones:

La velocidad de giro del sinfín debe ser proporcional a la velocidad de avance de la cosechadora y debe quedar media pulgada entre las alas del sinfín y la bandeja. Si aumenta la separación se dificulta mover el cultivo sin que se atore y si se reduce la separación se pueden dañar los granos (Hanna & Quick, 2007). Girando el eje acodado al que están unidos los dientes del sinfín, se modifica el punto donde estos se asoman y donde quedan dentro del tubo.

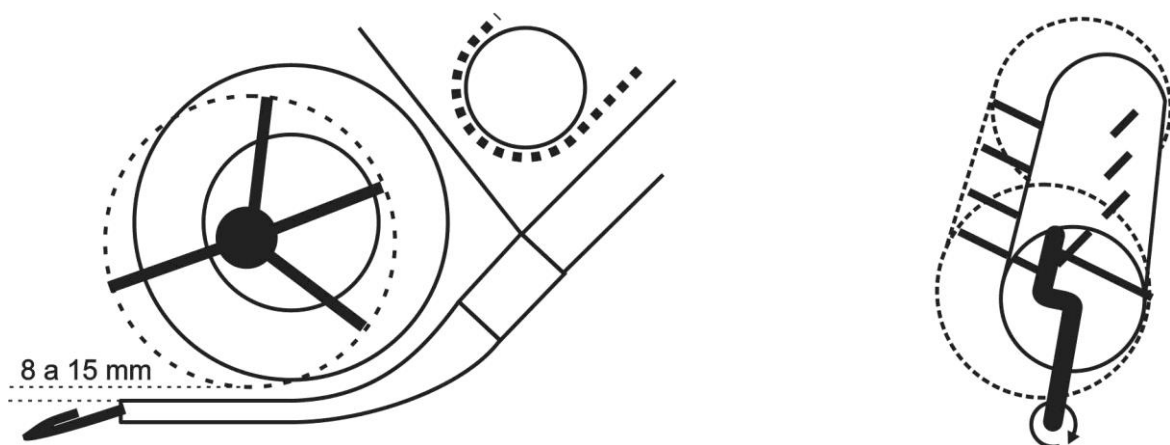


Fig. 23 regulaciones del sinfín.

BARRA DECORTE FLEXIBLE FLOTANTE

Para cosechar cultivos como la soja o poroto, que presentan vainas en toda la altura de la planta, se debe disponer de un cabezal que pueda cosechar desde la base del cultivo, copiando las irregularidades del terreno. Los cabezales con barra de corte flexible flotante presentan la posibilidad de deformarse en altura para copiar el terreno (flexibles), y de desplazarse al ras del suelo (flotante).

Barra de corte flotante y control automatico de altura del cabezal

En la Fig. 24 se observa como una barra de corte flotante debe estar suspendida desde la plataforma del cabezal, de modo que mientras este último esta a una altura fija tomado de la cosechadora, la barra de corte puede flotar sobre la superficie del suelo. El rango de flotación de la barra de corte es limitado a unos 15 a 22 cm (AGCO 2009, Claas 2018, CNH 2018 y Deere 2018). Para lograr que la barra se desplace al ras del terreno ante desniveles verticales superiores a su rango de flotación, la cosechadora debe contar con un control automático de altura que modifique la posición del cabezal completo cuando la barra de corte llega al límite de su rango de flotación. Que el control de la altura del cabezal sea automático permite que el operador pueda prestar más atención a otras funciones, reduciendo su fatiga y al mismo tiempo reduce las pérdidas de grano y el riesgo de que la barra de corte tome tierra (Woodruff 1971).

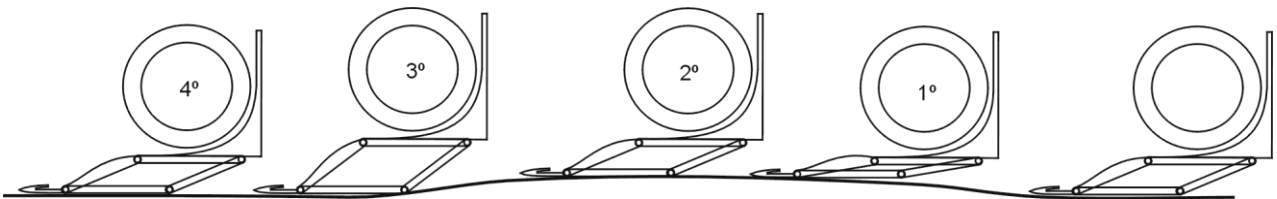


Fig. 24 cabezal en vista lateral copiando las irregularidades del terreno. 1º la barra de corte flotando sobre la superficie del suelo, encuentra una loma y se eleva evitando enterrarse. El mecanismo de copiado del terreno queda plegado en su punto superior perdiendo capacidad de elevarse. 2º El control automático de altura del cabezal registra la posición de la barra de corte y reacciona elevando la plataforma del cabezal para que la barra recupere su punto medio y capacidad de copiado. 3º Pasada la loma la barra de corte desciende. 4º El control automático de altura baja el cabezal para que la barra vuelva a su punto medio recuperando su capacidad de copiar las irregularidades del terreno.

Barra de corte flexible

La barra de corte debe tener la capacidad de deformarse para copiar las irregularidades del terreno.

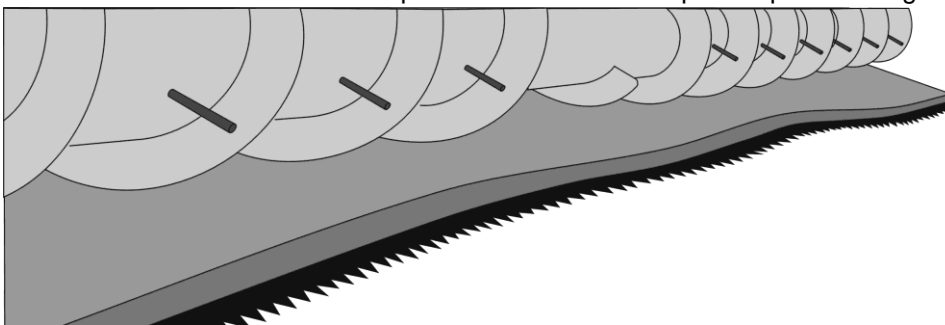


Fig. 25 barra de corte flexible.

Autonivelante automático

Es un mecanismo que permite que el cabezal se incline lateralmente dentro de un rango acotado, para compensar pendientes transversales al sentido de avance.

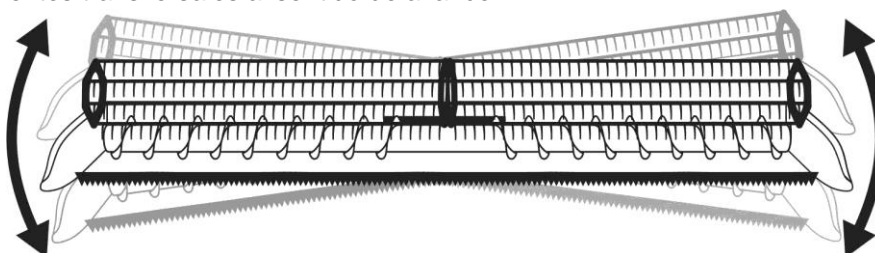


Fig. 26 cabezal con autonivelante automático.

CABEZALES DE LONAS O DRAPER

La tendencia a construir cosechadoras cada vez más grandes llevó a que a fines del siglo 20 ya se construyeran cabezales de 30 pies de ancho (9,15 m), los que comenzaban a presentar dificultades para transportar volúmenes crecientes de cultivo mediante el sinfín. Una alternativa eran los cabezales de lonas o "draper", donde el transporte del cultivo recolectado se realiza con lonas transportadoras en lugar del sinfín. Estos cabezales se habían utilizado por décadas con barra de corte rígida, por lo que no eran adecuados para cosechar los cultivos con granos desde la base de la planta, como soja o arveja. A partir de 2004 comienzan a aparecer distintos diseños de cabezales de lonas de diseño flexible flotante (MacDon 2004).

Los cabezales draper presentan como ventaja una reducción de las pérdidas de granos en el cabezal en torno al 40% en el cultivo de soja a causa de la ausencia de fricción entre las vainas y el sinfín (Gobbi et al., 2014 y Menezes et al., 2018). Los mismos autores mencionan que las lonas del cabezal draper permiten transportar el cultivo dentro de la cosechadora de forma más uniforme, permitiendo reducir las pérdidas por cola y aumentar la capacidad de trabajo.

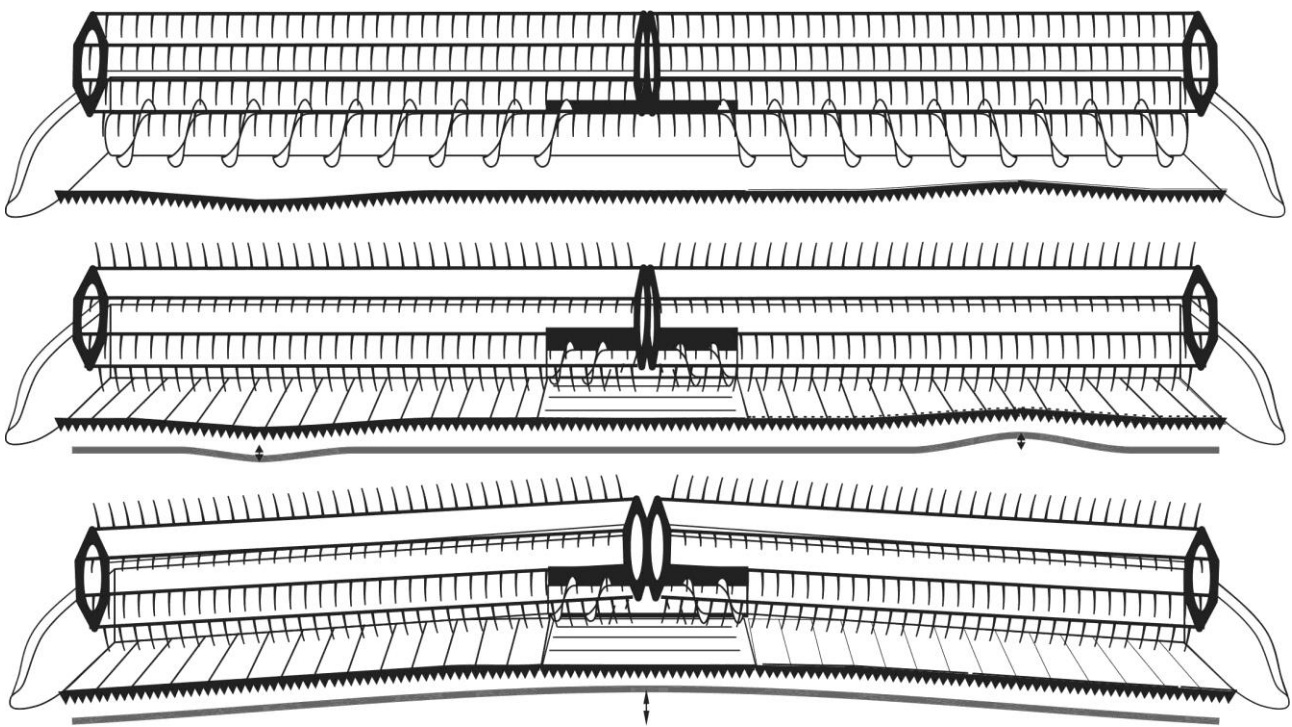


Fig. 27 Diferentes diseños de cabezales con barra de corte a) con sinfín, b) con lonas y barra de corte flexible c) con lonas y barra de corte rígida articulada.

Sistema de copiado del terreno

La capacidad de copiar las irregularidades del terreno en los cabezales de lonas se ha resuelto de dos formas diferentes. En algunos modelos el copiado de las ondulaciones se logra mediante la articulación entre diferentes tramos de una barra de corte rígida (fig c), mientras que en otros se recurre directamente a una barra de corte flexible, siendo fundamental en este caso que el borde delantero de las lonas transportadoras se mantenga vinculado con la barra de corte mientras esta se deforma sobre el terreno (fig b). La capacidad de copiado de estos dos mecanismos presenta diferencias, la barra de corte flexible copia mejor irregularidades de menos de 15 cm en sentido vertical que es el rango dentro del que se puede deformar, mientras que la barra de corte articulada se adapta mejor a ondulaciones más pronunciadas (fig b y c). La barra de corte articulada permite una mayor velocidad de las cuchillas a causa de que estas se desplazan en tramos rectos. Además para el caso de cosechar cultivos de poco desarrollo, los dientes del molinete pueden trabajar más cerca de las barra de corte cuando éstas son rígidas articuladas.

Ruedas estabilizadoras

Estos cabezales, generalmente de más de 30 pies, disponen de ruedas estabilizadoras en sus extremos para cuando deben trabajar a cierta altura sobre el nivel del suelo (como cuando se cosecha trigo), logrando

una mayor estabilidad y uniformidad en el corte. Cuando por las características del cultivo se debe cosechar al ras del suelo (por ejemplo soja), las ruedas estabilizadoras se rebaten, ya que toda la barra de corte se apoya sobre el suelo comportándose como flexible flotante.

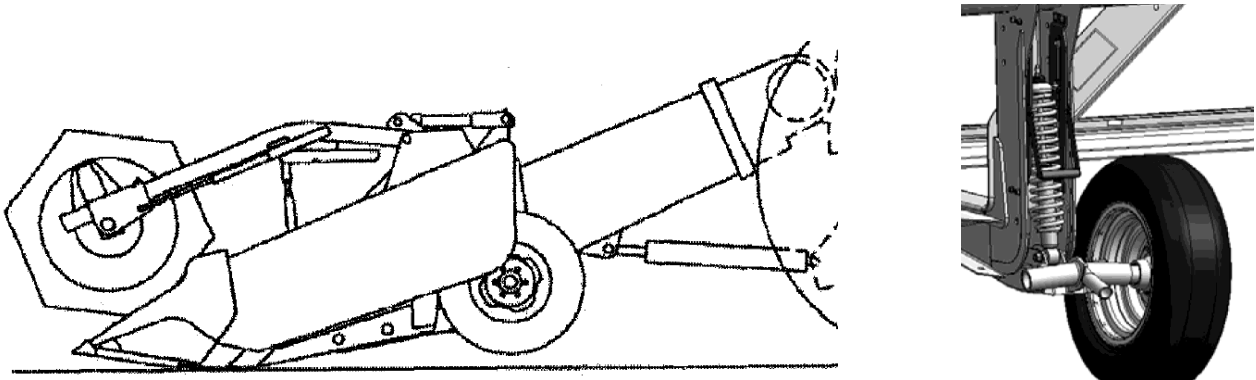


Fig. 28 Las ruedas estabilizadoras se pliegan cuando el cabezal trabaja flotante y se bajan cuando el cabezal trabaja elevado para estabilizarlo.

Cuando por presencia de piedras o por requerimientos del cultivo, se necesario aumentar la altura de la barra de corte, esta se puede modificar variando la inclinación de los patines de la barra de corte

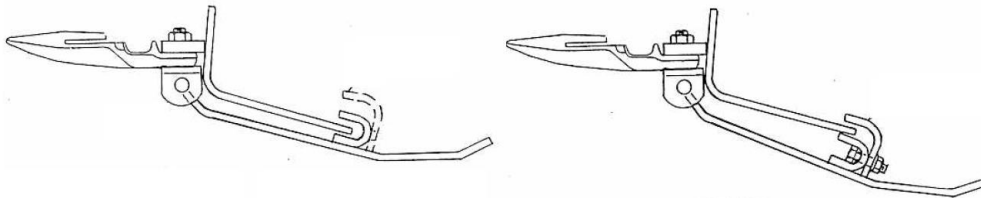


Fig. 29 El patín es la única alternativa para regular la altura de corte cuando el cabezal trabaja flotando.

Entrega del cultivo al acarreador

Generalmente los cabezales draper, presentan una cinta transportadora central dispuesta longitudinalmente que fuerza el ingreso del cultivo dentro de la cosechadora, entregando el cultivo al acarreador. Al pasar el cultivo de las lonas laterales a la central, este cambia de dirección pudiendo frenarse, lo que genera riesgo de obturaciones. Para evitar estos inconvenientes es que la cinta central trabaja en un plano inferior de forma que el cultivo cae en esta última, disminuyendo el riesgo de que se frene. Un sinfín con dedos retractiles fuerza el ingreso al sistema de alimentación en todo su ancho.

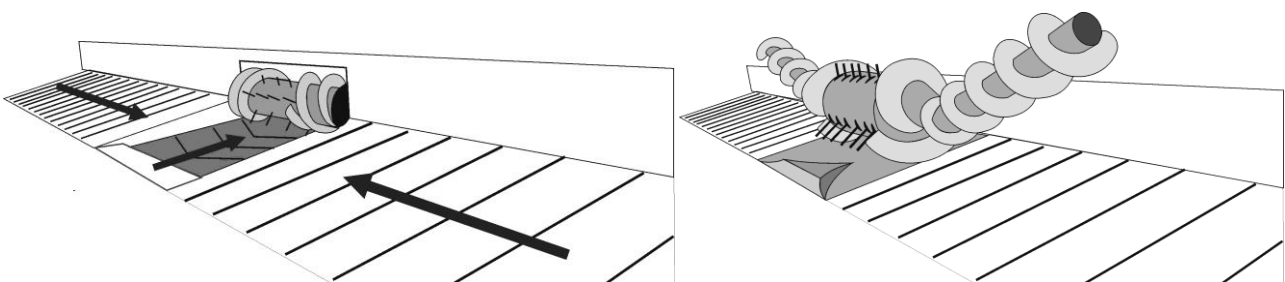


Fig. 30 Distintos sistemas de entrega del cultivo al acarreador

Otro sistema reemplaza la cinta transportadora central por un piso fijo que igualmente se sitúa en un plano inferior a las cintas transportadoras laterales. También posee un sinfín de dedos retractiles pero de mayores dimensiones y en una posición más adelantada, ya que es el principal responsable del ingreso del cultivo al acarreador al no haber una cinta que lo transporte. Unas extensiones laterales del sinfín fuerzan el desalojo del cultivo de las cintas laterales al llegar a la parte central. El piso presenta una protuberancia que guía el cultivo que llega desde los laterales en un plano inferior y permite que el cultivo cortado en la parte central caiga sobre el anterior.

CABEZAL MAICERO

Descripción y funcionamiento

El cabezal maicero está diseñado para cosechar solo las espigas, dejando el resto de la planta en el campo, para que no sobrecargue los sistemas de trilla, separación y limpieza de la cosechadora.

Por el diseño de los cabezales, los cultivos se cosechan en la dirección en que fueron sembrados con los puntones avanzando entre medio de las hileras de cultivo. Cuando la distancia entre hileras en el cultivo no coincide con la separación entre puntones, se dificulta el ingreso de las plantas al cabezal con el incremento de espigas caídas al suelo. Los puntones del cabezal conducen las hileras del cultivo por entre medio de los mismos, hacia los mecanismos encargados de desprender las espigas de las plantas. Entre medio de los puntones unas cadenas con dedos fuerzan a las plantas a pasar entre medio de un par de rodillos que traccionan las plantas hacia abajo (Fig. 31). Debajo de las cadenas y por sobre los rodillos hay dos placas suficientemente separadas para que la caña baje sin atorarse, pero sin espacio para que pase la espiga. Esta última se desprende sobre las placas y es transportada hasta el sinfín por las cadenas. El sinfín que transporta las espigas desde los extremos hasta el centro del cabezal maicero, tiene un tubo o cilindro de diámetro reducido y espiras más amplias, para poder transportar las espigas de maíz, que ocupan mucho más espacio que otros granos. Debajo de los rodillos se encuentran unas placas gramilleras que tienen por función evitar que la maleza se pueda enrollar.

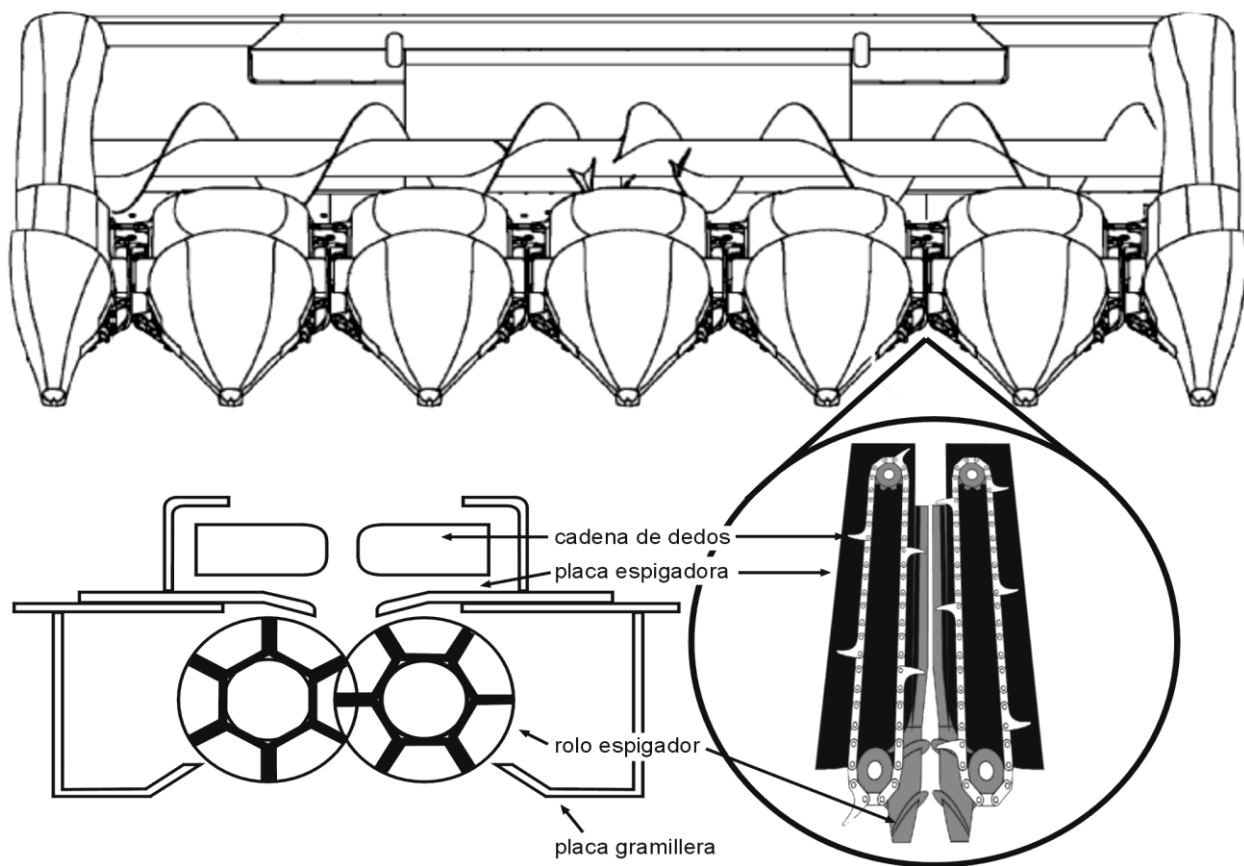


Fig. 31 Cabezal maicero

Los rolos espigadores en su extremo delantero presentan una punta cónica helicoidal para facilitar el ingreso de las cañas. A sí mismo cuando el diseño completo de los rolos es cónico, la velocidad tangencial de los mismos aumenta hacia atrás con el diámetro. Esto permite que la velocidad con que se baja la planta de maíz aumente gradualmente siendo mayor atrás para terminar de bajar la planta. Además de esta forma el diámetro del rolo aumenta a medida que el diámetro de la caña de la planta se reduce, facilitando el contacto entre los dos.

Los puntones son diseñados con un ángulo bajo para facilitar su penetración debajo de cultivos volcados y en su porción posterior presentan una depresión para contener dentro las espigas sin riesgo de que caigan

al suelo. Unas pantallas salva espigas flexibles permiten el paso de las plantas entre medio de los puntones pero frenan la salida de espigas sueltas.

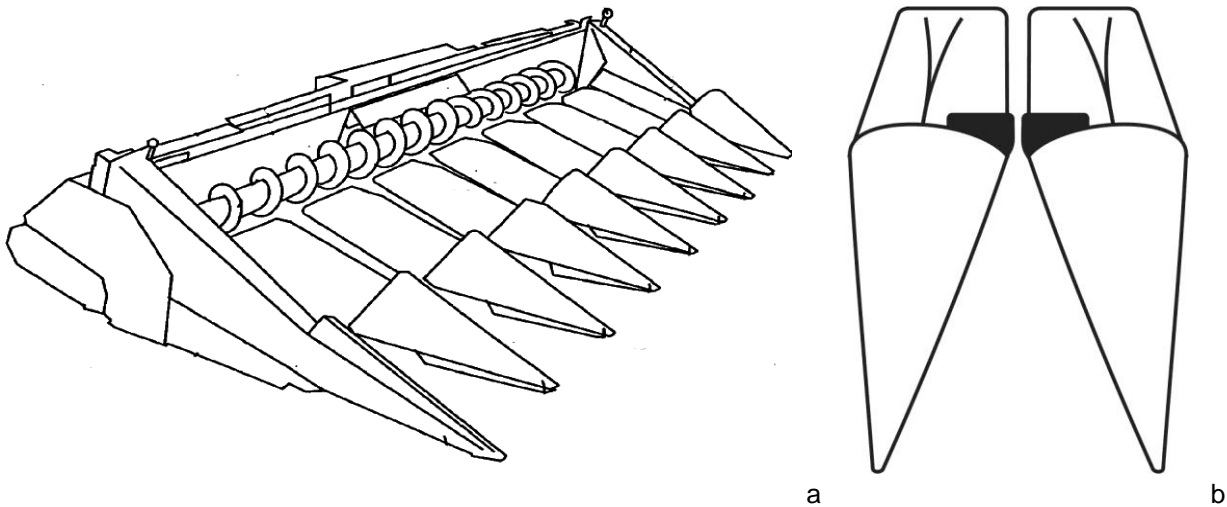


Fig. 32 a) la parte posterior de los puntones de los cabezales maiceros, presentan una zona hundida para contener las espigas que al desprenderse de las plantas suelen rebotar con riesgo de caer al terreno. b) pantallas salva espigas (también se las llama válvulas de retención), de material flexible (en la figura en color negro).

Triturador de tallo

Con la difusión de la siembra directa, la presencia de rastrojos en superficie puede llegar a dificultar la siembra de los cultivos, especialmente cuando el rastrojo es de maíz y el clima es húmedo y frío, lo que demora su descomposición. Para acelerar la descomposición del rastrojo de maíz, se han desarrollado una serie de alternativas para trozar la caña en el mismo cabezal maicero, como las cuchillas trituradoras del tallo de maíz (van dispuestas en la base de los rolos del cabezal). Esta alternativa es desaconsejada en zonas donde el volumen de rastrojo no es tan abundante ni es lenta su degradación, porque se privilegia mantener la cobertura del suelo y el rastrojo triturado seguramente será arrastrado por las lluvias o el viento, dejando el suelo descubierto. Las cuchillas trituradoras del tallo de maíz casi no se han adoptado además por su demanda extra de potencia. Los cabezales maiceros requieren dos veces más potencia que los convencionales, al menos 8 HP por hilera y si el cabezal cuenta con cuchillas trituradoras, generalmente demanda 3 HP extras por hilera (Bragachini & Peiretti, 2008). Algunos modelos de rolos espigadores van quebrando la caña a medida que la bajan sin llegar a cortarla si el maíz no está demasiado seco.

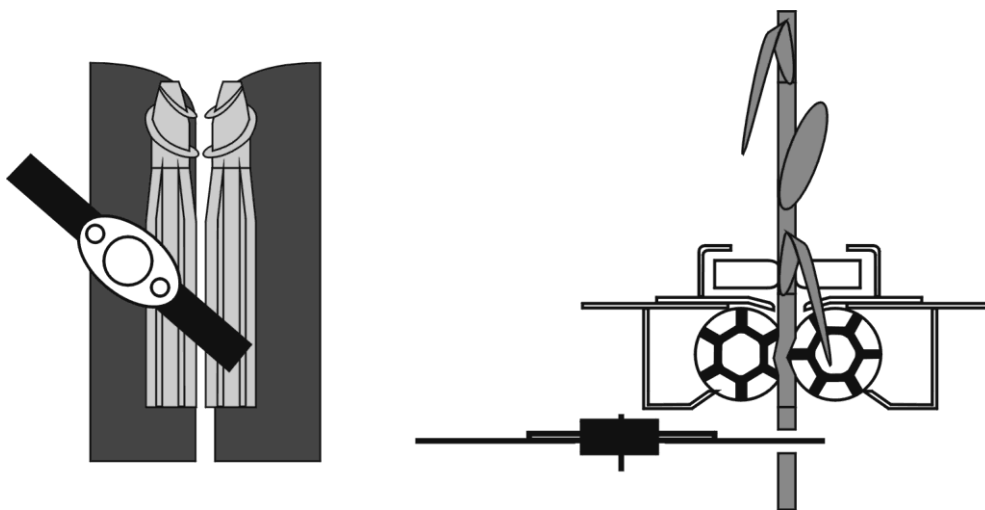


Fig. 33 Triturador de tallo vista desde abajo y de frente (en corte).

Control de posición del cabezal

En la actualidad los cabezales maiceros pueden disponer de un control automático de altura y nivelación horizontal, especialmente en los más anchos que van a trabajar en terrenos irregulares. Con una serie de patines en la base de los puntones, miden constantemente la altura del cabezal en el centro y los extremos del mismo, para corregir la altura y nivelarlo paralelo a la superficie del suelo automáticamente.

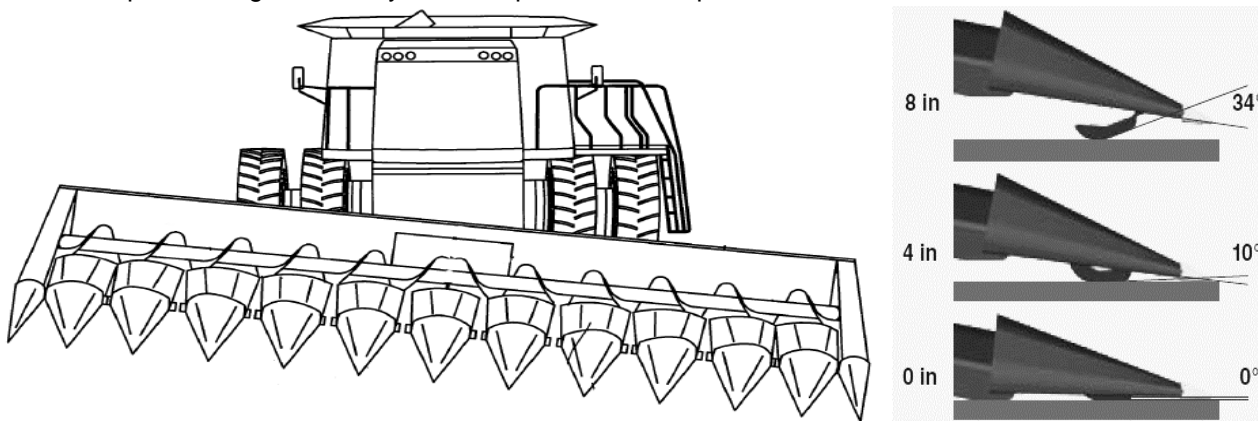


Fig. 34 Control de posición ajustando el cabezal lateralmente de acuerdo al control del terreno realizado por los patines (dercha).

Molinete para cultivos volcados

Para cultivos volcados existen diferentes diseños de molinetes que pueden ser montados sobre el cabezal maicero. Estos ayudan a levantar y conducir dentro del cabezal a las plantas volcadas. En algunas ocasiones no reducen significativamente las pérdidas pero permiten que estas no se incrementen sin tener que reducir la velocidad (Hanna 2008).

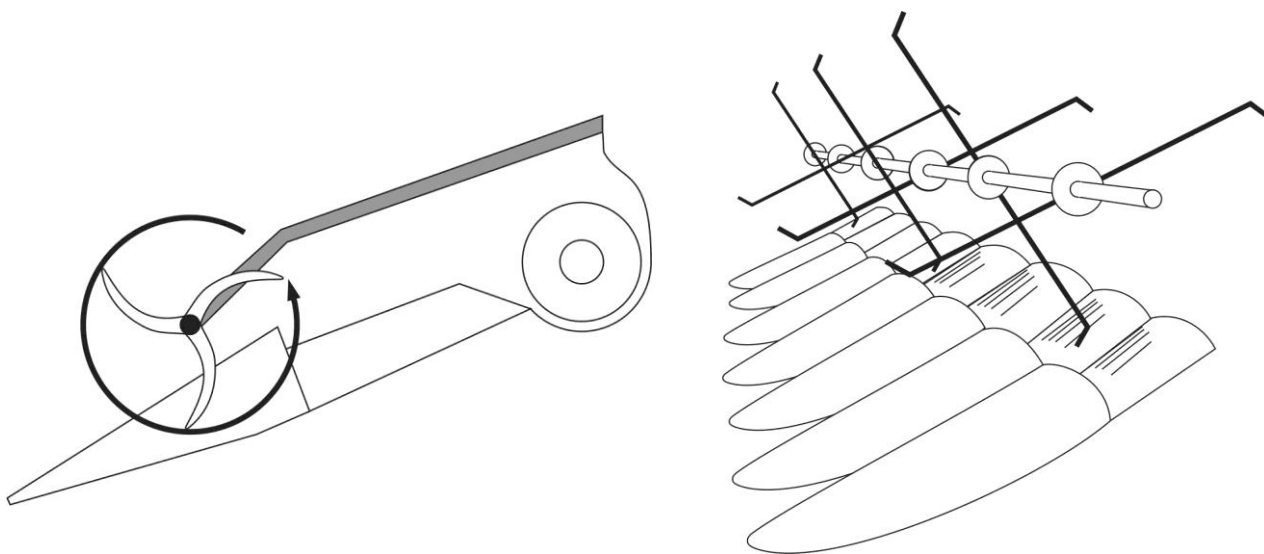


Fig. 35 Molinete para levantar plantas volcadas. Izquierda, molinete Geringhof (Surmann et al., 2015). Derecha, molinete Shoup (Shoup, 2017).

Cabezales para cosechar al sesgo o con distintas distancias entre surcos

Tradicionalmente el cultivo de maíz se ha sembrado a 70 cm entre hileras pero con la difusión de otros distanciamientos como 52 cm, surgió la dificultad que presentan las hileras del cultivo para ingresar a cabezales cuando la separación entre hileras no coincide con la separación entre puntones (Fig. 36 izquierda). Esta dificultad ha sido resuelta en algunos cabezales separando los engranajes en la parte delantera de las cadenas para facilitar el ingreso de las plantas. Para que no se separe el resto de la cadena se dispone de un engranaje intermedio (Fig. 36 derecha). Además los puntones han sido recortados en la base (0), para provocar un menor ángulo de inclinación en las plantas que deben ser guiadas hacia el centro (Lambertini, 2017). Estos cabezales no solo pueden cosechar cultivos con distintos distanciamientos entre hileras sino también pueden cosechar cultivos al sesgo

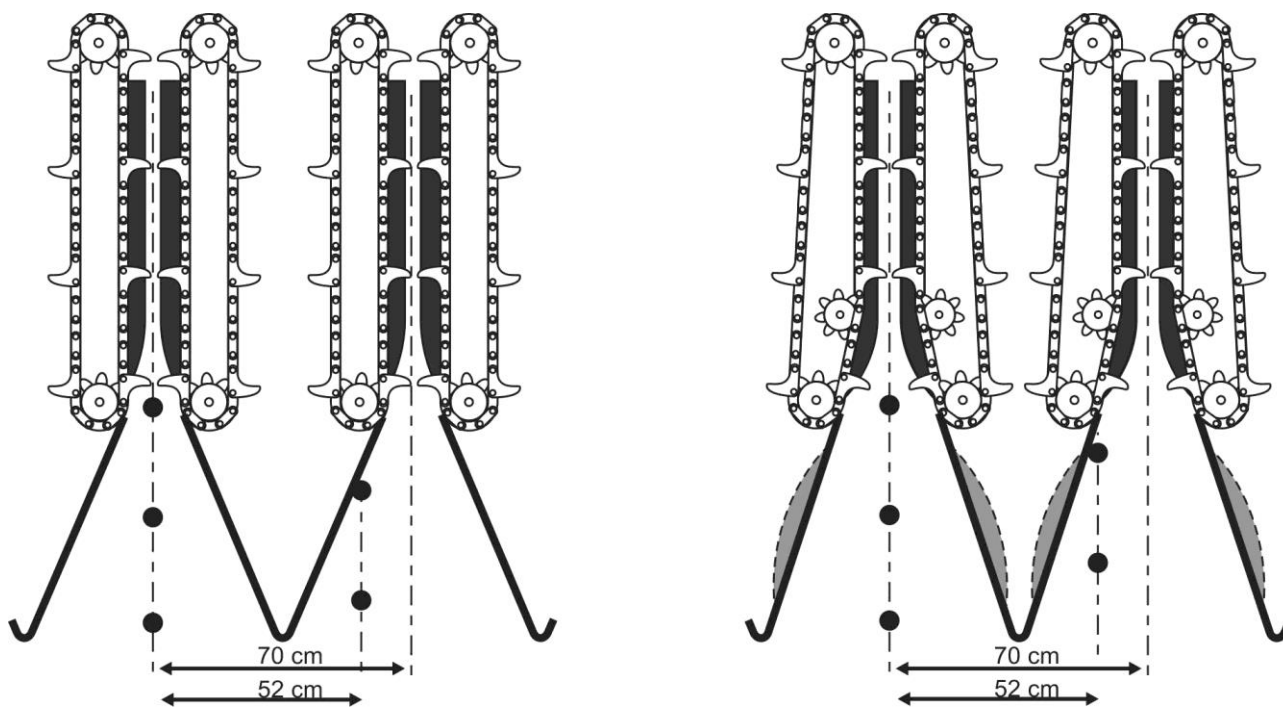


Fig. 36 Izquierda: esquema de un cabezal maicero convencional para cosechar hileras a 70 cm en un cultivo con hileras a 50 cm. Derecha: esquema de un cabezal multidistancia en la misma situación (Lambertini, 2017).



Diseño de puntones. Izquierda: diseño de un puntón convencional. Derecha: diseño del puntón del cabezal multidistancia con la base recortada (Lambertini, 2017).

Regulaciones

La condición del cultivo condiciona la velocidad de avance de la cosechadora y esta condiciona la velocidad de las cadenas y rolos espigadores que deben ajustarse a la velocidad de cosecha. Habitualmente las cadenas y los rolos se regulan variando la relación de transmisión al costado del cabezal pero la tendencia en los cabezales es a poder regularlo desde la cabina.

Velocidad de avance

La velocidad de avance en la cosecha de maíz no suele ser mayor a 8 km/h porque aumentan demasiado las pérdidas de granos. Esto se debe fundamentalmente a que al aumentar la velocidad de avance se debe aumentar la velocidad de los rolos espigadores provocando que sea más brusca la separación de la espiga con el incremento de espigas y granos perdidos. En el caso de cultivos volcados puede ser necesaria reducir la velocidad de avance hasta 2 km/h.

Cadenas recolectoras

Las cadenas recolectoras se deben desplazar hacia atrás con la misma velocidad que avanza la cosechadora en sentido contrario. De este modo se logra sostener las plantas de maíz mientras son tomadas por los rolos espigadores. Si se reduce la velocidad de avance de la cosechadora, se debe proceder a reducir la velocidad de las cadenas para evitar que fuercen a las plantas hacia atrás con riesgo de que corten o arranquen plantas del suelo provocando la caída de espigas. Por el contrario si se aumenta la velocidad de avance de la cosechadora se debe aumentar la de las cadenas para evitar que las plantas puedan ser empujadas hacia delante.

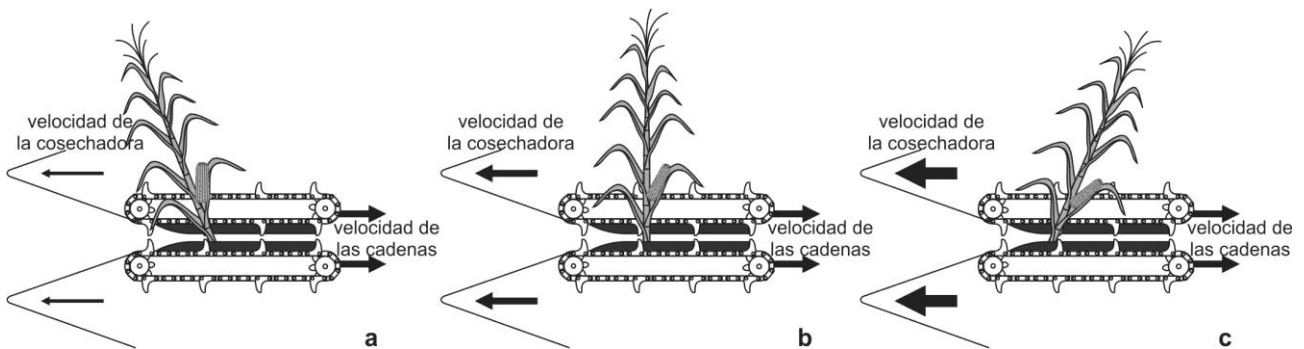


Fig. 37 Efecto sobre las plantas de la relación entre la velocidad de las cadenas y la velocidad de avance.

Rolos espigadores

La velocidad de los rolos debe estar en función de la velocidad de avance de la cosechadora. Si los rolos giran muy rápido, se acelera el descenso de la planta y la espiga se desprende muy adelante en el cabezal, con riesgo de que rebote y caiga al suelo. Por otro lado si la velocidad de los rolos es escasa, puede suceder que la planta no termine de atravesar los rolos cuando llega a la parte posterior de los mismos, pudiendo ingresar parte de la planta a la cosechadora, recargando el trabajo de la misma. Se ha medido que si las espigas se desprenden en el cuarto delantero de las placas espigadoras, un 30% de las espigas caen fuera del cabezal y un 10% si se desprenden en el segundo cuarto. Si las espigas se desprenden en el cuarto final de las placas, el efecto es un incremento de las pérdidas por cola de cosechadora (Ferrari et al., 2016).

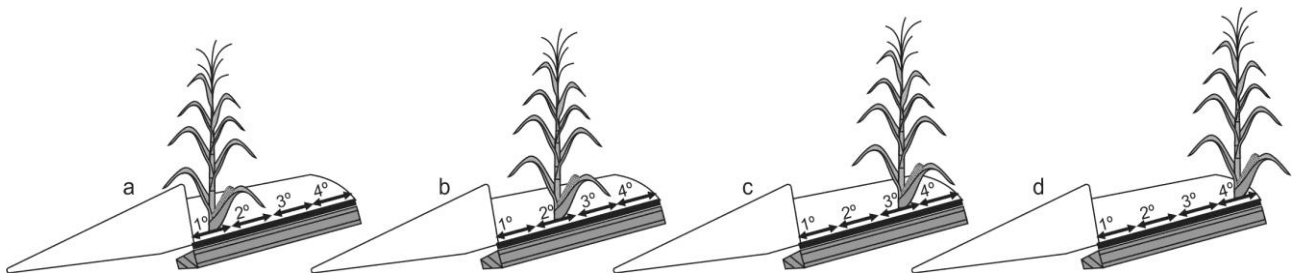


Fig. 38 Posición donde se desprende la espiga según el ajuste del régimen de giro de los rolos y la velocidad de avance.

Placas espigadoras

En las placas espigadoras se debe regular la separación entre las mismas de modo de dejar espacio suficiente para que el tallo descienda al ser traccionado por los rolos, pero no dejando espacio para que la espiga se desgranada por los rolos. Se suele recomendar que las placas espigadoras tengan 1/8 de pulgada extra de separación en la parte posterior, debido a que es en esta parte donde atraviesan las placas la porción más voluminosa de la planta y se debe evitar que ingrese a la cosechadora (Hanna 2008).

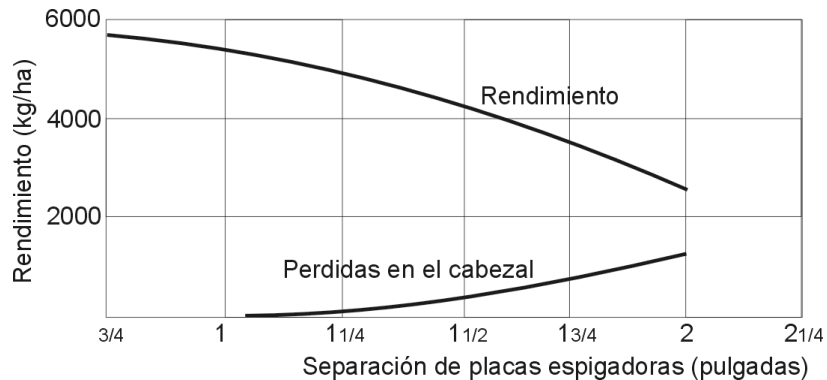


Fig. 39 Evolución del las pérdidas de granos sueltos en el cabezal al aumentar la separación entre placas.

En el caso de la separación entre placas, tradicionalmente se ajustan una por una de forma manual. Actualmente hay muchos cabezales que permiten regular la separación de las placas desde la cabina, pero se debe comprobar periódicamente que la separación sea la deseada, ya que se pueden encontrar diferencias en la separación entre diferentes hileras. El último avance es el ajuste de las placas en forma individual entre hileras, automáticamente en la medida que varía el diámetro de las plantas de maíz.

Disposición de los dedos de las cadenas recolectoras

Si los dedos de las cadenas se disponen enfrentados van a ofrecer un apoyo más firme para sostener los tallos mientras son traccionados por los rolos, lo que es muy importante cuando se cosechan cultivos volcados. Sin embargo, es conveniente que los dedos vayan intercalados cuando hay riesgo de que arrastren piedras.

Inclinación del cabezal

Existen diferentes recomendaciones para la inclinación del cabezal en torno a 25°. Si la inclinación fuera mayor aumenta el riesgo de perder espigas que caen al suelo y si la inclinación fuera escasa, va a aumentar el ingreso de hojas y tallo a la cosechadora.

Reducción de espigas voleadas en el centro del sinfín

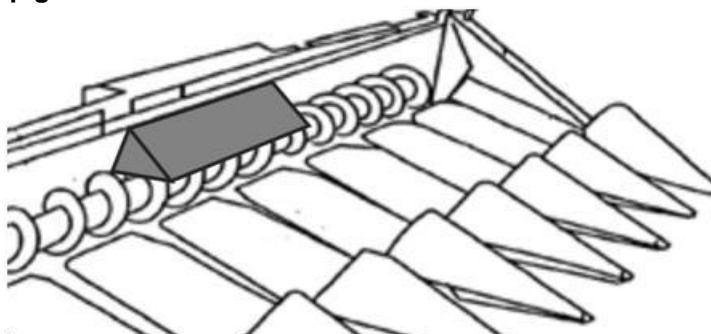


Fig. 40 Tapa sobre el centro del sinfín para los casos en que este arroje espigas al suelo.

Cosecha de cultivos volcados

Se debe reducir la velocidad y cosechar en sentido contrario a la dirección en la que está volcado el cultivo. Los puntones del cabezal se deben llevar lo más bajo posible para que puedan desplazarse debajo de las plantas volcadas. Las cadenas y los rolos espigadores se deben ajustar lo más cerca posible de las cañas.

CABEZAL GIRASOLERO

El cabezal girasolero cuenta con una serie de bandejas dispuestas de forma que al avanzar la cosechadora las bandejas se introducen por la entrefila del cultivo. En la medida que el cabezal avanza sobre el cultivo, las plantas de girasol quedan entre medio de las bandejas (A) hasta que son topadas por el escudo que las empuja hacia delante inclinándolas (B). Al inclinarse la planta va a ser tomada por el destroncador que la tracciona hacia abajo, pero además el destroncador y el escudo dan dos puntos de apoyo al tallo que evitan que sea cortado por las cuchillas antes de que el capitulo baje hasta la bandeja (C). Cuando el capitulo quede por debajo del escudo, va a ser tomado por el molinete que lo dirige hacia atrás, permitiendo que las cuchillas corten el tallo en la base del capítulo (D). De esta forma se evita que ingresen un exceso de tallos y hojas, recargando los diferentes sistemas de la cosechadora.

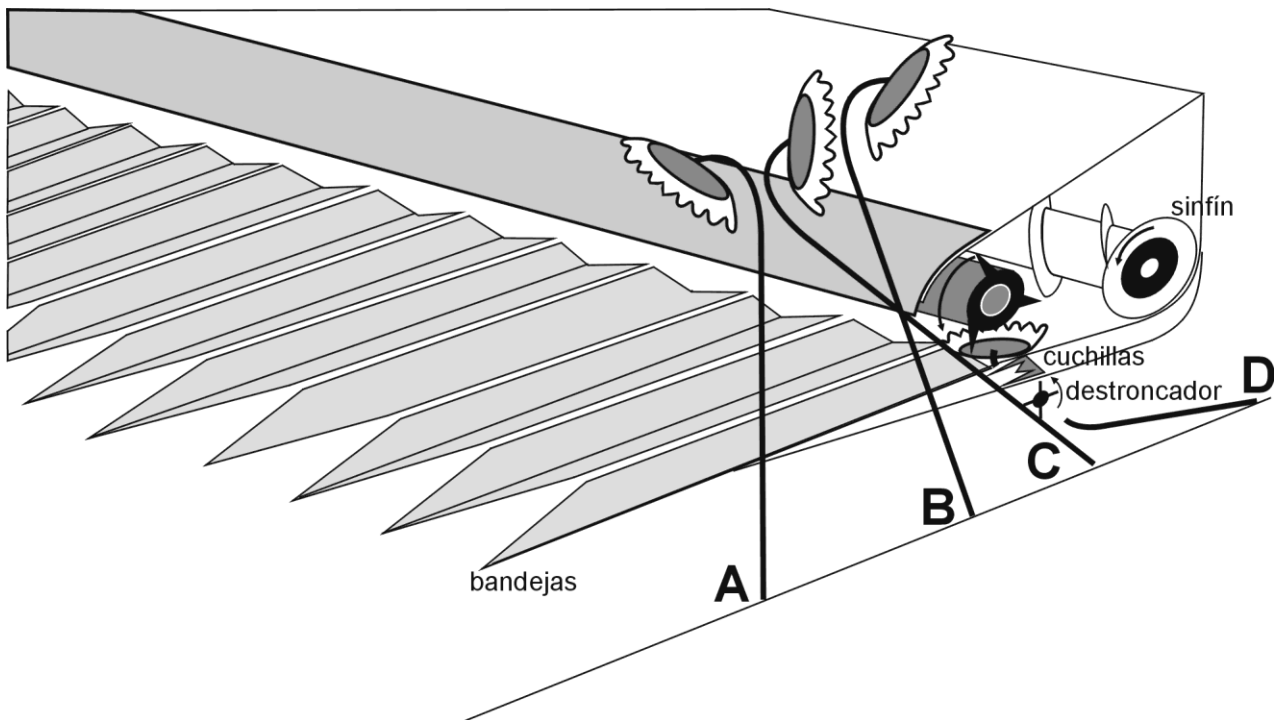


Fig. 41 Esquema de la recolección del cultivo en el cabezal girasolero.

CABEZAL STRIPER (desgranador)

Este cabezal es utilizado para cosechar arroz, trigo y otros cereales de invierno. Su funcionamiento se basa en un rotor con paletas plásticas dentadas, que entre sus dientes dejan un espacio similar al ojo de una llave. Las paletas “peinan” los tallos del cultivo desde la base. Cuando los tallos llenan el círculo entre los dientes de los peines desgranadores, ya no resta espacio para que pasen los granos, que van a ser desprendidos. De este modo aproximadamente el 80% de grano es trillado en el cabezal, siendo el resto espigas que son arrancadas completas.

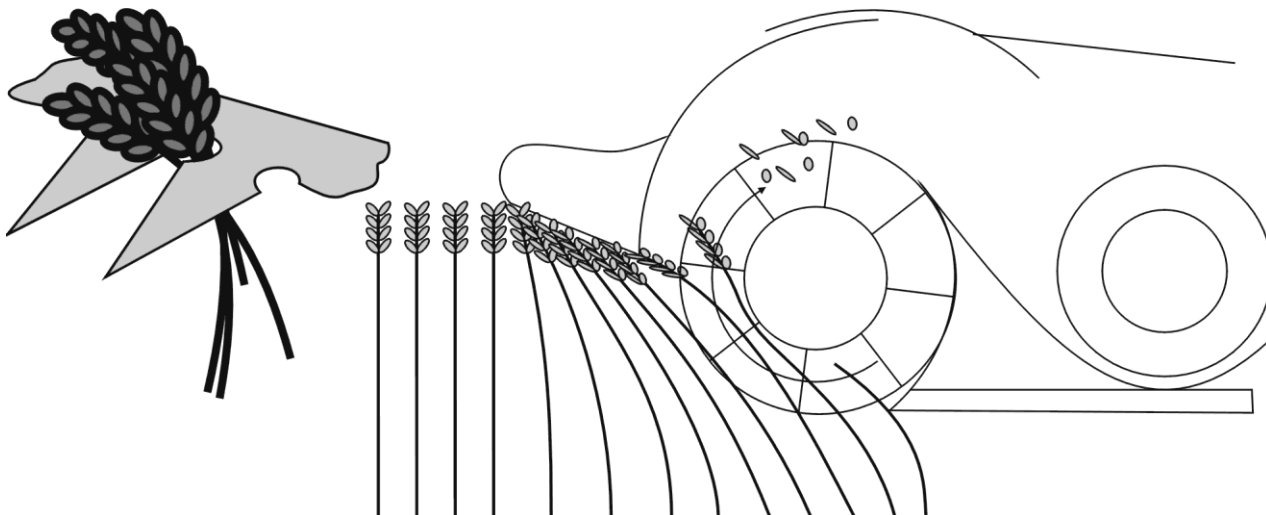


Fig. 42 Esquema de la recolección del cultivo en el cabezal stripper.

Regulación del régimen del rotor o molinete

La velocidad de avance de la cosechadora va a ser la que permita el mayor índice de alimentación compatible con la capacidad de la cosechadora. Luego se debe ajustar la velocidad a la que giran los peines desgranadores, a la velocidad de avance de la cosechadora. Si la velocidad del molinete o rotor es demasiado elevada, los peines desgranadores no se cargan y las espigas pueden pasar entre los dientes sin desgranarse. Por el contrario si la velocidad del molinete es escasa, los peines desgranadores se sobrecargan de espigas, algunas de las cuales van a quedar fuera del círculo donde se desgranar.

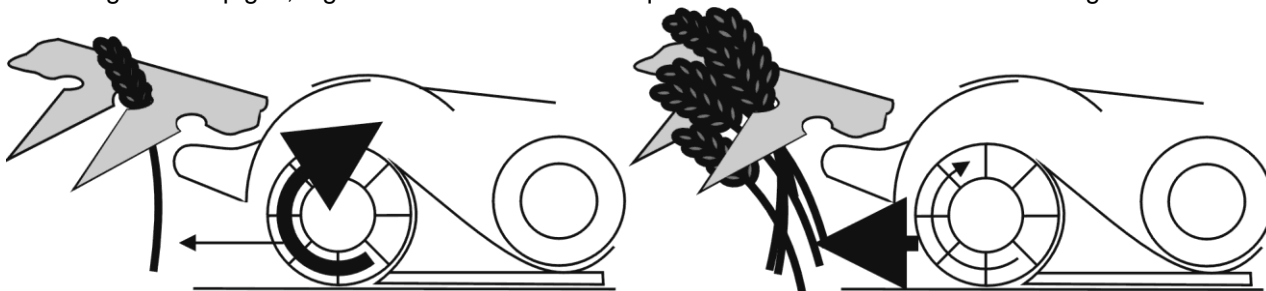


Fig. 43 Efecto de la regulación de la velocidad de giro del rotor.

Regulación de la altura del capot

La altura del capot se regula de forma que empuje el cultivo unos 10 cm hacia abajo provocando su flexión. Además es conveniente que no haya demasiada separación entre el capot y el rotor de forma que este último genere una corriente de aire hacia dentro que succione el cultivo.

Desempeño de la cosechadora con cabezal stripper

Al ingresar el grano prácticamente sin paja a la cosechadora, esta última va a trabajar menos sobrecargada en la separación del grano de la paja, pudiendo aumentarse el índice de alimentación mediante el aumento de la velocidad de la cosechadora. La mayor velocidad compensa la pérdida de capacidad de trabajo que implica cosechar con un cabezal stripper, que no se fabrican de gran ancho de labor.

Por otra parte el aumento del índice de alimentación va a sobrecargar la separación del grano de la granza, por lo que se debe regular este sistema para expulsar mayores volúmenes de granza (Vazquez & Peiretti, 2012).

CORTE HILERADO

El corte hilerado es una alternativa de cosecha que consiste en segar el cultivo y dejarlo sobre el suelo secándose en una hilera o andana. Después de unos días se completa el proceso recolectando el cultivo cuando este llega a la humedad adecuada. Si bien este proceso involucra la realización de dos labores, hay condiciones que justifican su implementación:

- Cuando un cultivo se encuentra enmalezado, aunque el cultivo tenga la humedad de cosecha, si las malezas están verdes pueden dificultar los procesos de separación elevando las pérdidas.
- En cultivos que presentan una maduración desuniforme como la colza, donde mientras unos granos todavía están verdes y otros de tan maduros pueden comenzar a caer al suelo.
- En cultivos volcados o desuniformes.

Corte hilerado

El corte de los cultivos se realiza con cabezales de lonas y barra de corte alternativa. Existen modelos para ser arrastrados por el tractor o autopropulsados. El cultivo recolectado y transportado por las lonas se deja hilerado sobre el terreno. En todos los casos el corte hilerado se realiza tempranamente y se deja secar el cultivo en el suelo hasta alcanzar la humedad de cosecha. El cultivo debe ser cortado a una altura ligeramente inferior a la de los granos más bajos. En lo posible no menos de 20 cm de altura para que la andana repose sobre los tallos no cortados, permitiendo la circulación del aire por debajo (Augsburger, 1991). Las andanas muy grandes tienen dificultades para secarse mientras que si son chicas pueden ser arrastradas por el viento. Se a medido una reducción de pérdidas de granos cuando la andana es compactada durante su formación, clavándola ligeramente entre los tallos recién cortados (se pueden colocar tanques de 200 litros detrás de la corta hileradora). De este modo se evita que el viento desparrame la andana y se facilita la acción del molinete cuando finalmente se recolecte la andana (Giordano et al., 2012).

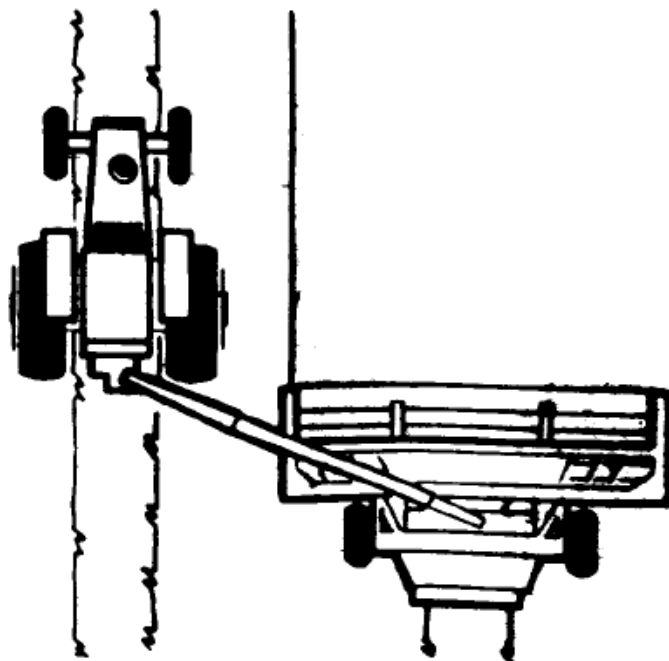


Fig. 44 Cortadora hileradora de arrastre (MacDon 2012).

Recolección de la andana

La recolección de las andanas se puede realizar con cabezales especiales con lonas que dirigen las andanas al sistema de alimentación de la cosechadora. Otra alternativa es utilizar los cabezales convencionales con la barra de corte ligeramente por debajo de la base de las andanas, colocando alguna cobertura sobre los puntones que no van a coincidir con las andanas para reducir el ingreso de paja a la cosechadora (Carmody, 2009).

En cuanto a la dirección de la recolección existen recomendaciones para realizarla en el mismo sentido que se realizó la andana (Iriarte & Valetti, 2013) o en el sentido opuesto (Giordano et al., 2012). De una y otra forma lo importante es que ingresen primero los granos al cabezal para reducir las pérdidas de grano.

SISTEMA DE ALIMENTACION (acarreador o embocador)

El sistema de alimentación cumple la función de trasladar el cultivo recolectado, desde el cabezal a nivel del suelo hasta el sistema de trilla que se encuentra en una posición más elevada. Está formado por dos cilindros que mueven una serie de cadenas unidas por barras que desplazan el cultivo. El cultivo es transportado por la parte inferior y en caso de atorarse, se invierte el sentido de giro de las cadenas para destrabar la obstrucción. En la parte posterior del acarreador hay una trampa para piedras que debe ser vaciada diariamente por la parte inferior.

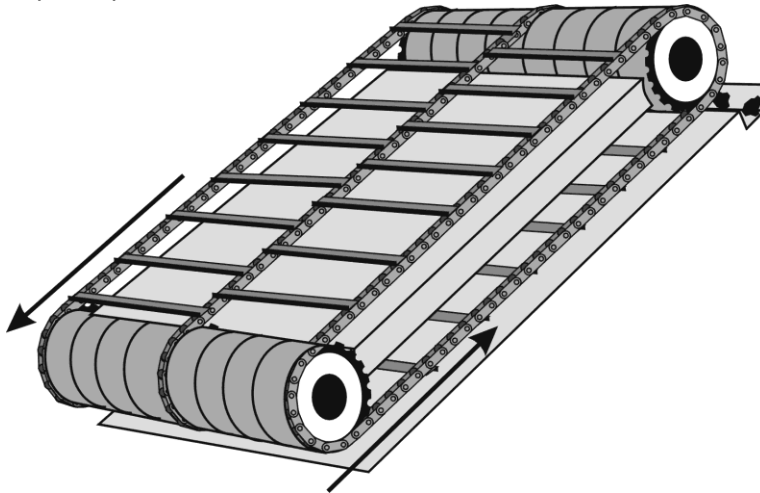


Fig. 45 Acarreador de cadenas con listones y trampa para piedras.

Entre las cadenas y los cilindros se dispone un piso separador que evita que el cultivo se pueda acumular entre medio de las cadenas con riesgo de obturaciones. Este entrepiso y el cilindro frontal deben poder elevarse para dejar más espacio al paso de cultivos de alto rendimiento. Si bien en algunos casos el cilindro frontal se eleva hasta una posición fija, hay dispositivos como el de la Fig. 46 que pueden flotar entre dos topes, elevándose solo cuando aumenta el índice de alimentación (figura a la derecha).

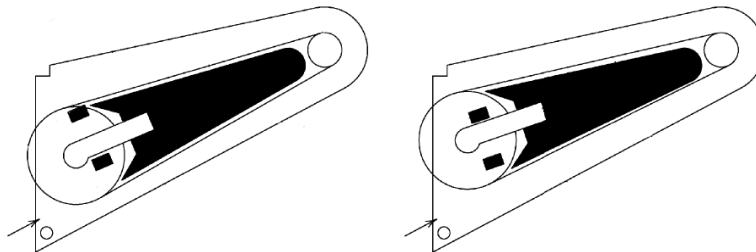


Fig. 46 Acarreador con paso variable en función del índice de alimentación.

Velocidad del acarreador

Si la velocidad del acarreador es baja se corre el riesgo de que se atore con el cultivo, pero si es excesiva parte del cultivo puede ser devuelto hacia delante por la parte superior.

Para cultivos de alto rendimiento se puede aumentar la velocidad del acarreador modificando la relación de transmisión mediante el cambio de engranajes. En la actualidad la transmisión suele ser continua variable y en algunos casos presenta ajuste automático de velocidad en función del índice de alimentación.

Fácilmente ajustable

La parte delantera donde se acopla el cabezal puede ajustarse hacia delante y atrás, adaptándose así al tamaño de los neumáticos, así como al tipo de cultivo y las condiciones de trabajo.

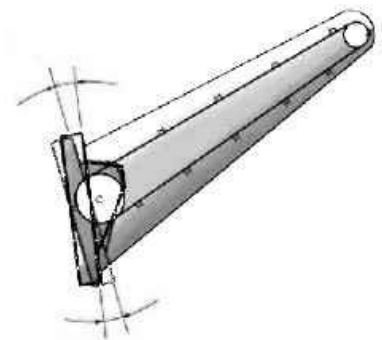


Fig. 47 Variación del ángulo de acople al cabezal.

SISTEMA DE TRILLA

Descripción

El sistema de trilla consiste fundamentalmente de un cilindro rotativo y un “cóncavo” que es una rejilla que envuelve el cilindro. Al pasar el cultivo recolectado por el estrecho espacio que separa al cilindro del cóncavo, se produce la trilla que consiste en que el grano se desprenda de las estructuras vegetales que lo contienen (vainas, espiguillas, paniculas). Este proceso se produce por impacto y por fricción (Huynh et al 1982).

En las cosechadoras convencionales al pasar el cultivo entre el cilindro y el cóncavo no solo se realiza la trilla sino que comienza la separación del grano, proceso que se completa en el sistema de separación posterior. En las cosechadoras axiales, la trilla se realiza al pasar el cultivo entre el rotor y el cóncavo, mientras que la parte posterior del rotor constituye el sistema de separación (Fig. 48).

En las cosechadoras convencionales, el cultivo recolectado ingresa al sistema de trilla en forma tangente al cilindro. Este gira a elevado régimen, e impulsa al cultivo a pasar por el estrecho espacio entre cilindro y cóncavo, del que sale antes de completar media vuelta alrededor del cilindro. El grano se desprende de las estructuras que lo contienen, en gran medida debido al impacto que recibe del cilindro al ingresar al sistema de trilla y también por fricción al pasar entre el cilindro y el cóncavo.

En las cosechadoras axiales, el cultivo recolectado ingresa al sistema de trilla por el extremo anterior del cilindro o rotor, teniendo que comenzar a girar alrededor del mismo hasta completar varias vueltas. El extremo anterior del rotor presenta unos alabes que facilitan el ingreso del cultivo y es de forma cónica lo que provoca que el cultivo se acelere a medida que aumenta el diámetro. La aceleración gradual del cultivo en el ingreso reduce el efecto del impacto en la trilla, pero es compensado con un incremento de la fricción por la mayor permanencia durante varias vueltas alrededor del rotor.

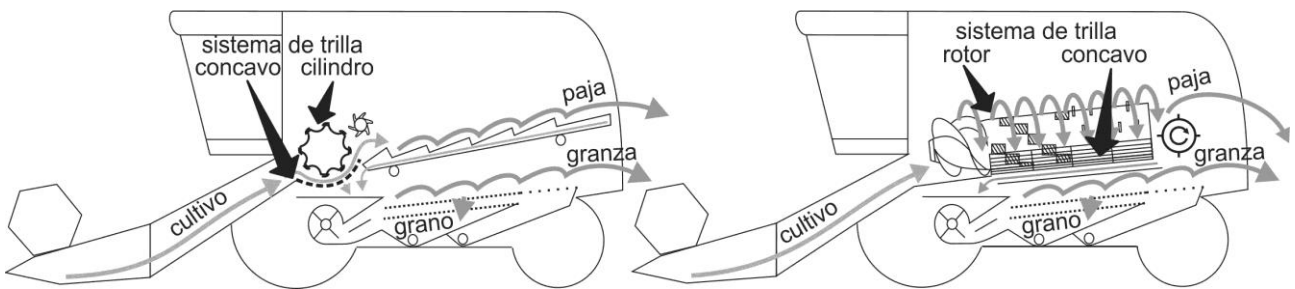


Fig. 48 Cosechadoras con trilla convencional y axial

Sobre el cilindro o rotor, van dispuestas una serie de barras o “esplangas” de acero forjado, corrugadas en su lado externo, que son las que fuerzan a desplazarse al cultivo sobre el cóncavo. El cóncavo consiste de una serie de alambres montados sobre unas barras curvas, pudiendo ser los alambres de distinto grosor y con un espaciado variable entre ellos, de acuerdo al cultivo a trillar. En los sistemas axiales, la cubierta superior presenta guías helicoidales que conducen el cultivo hacia atrás a medida que va girando.

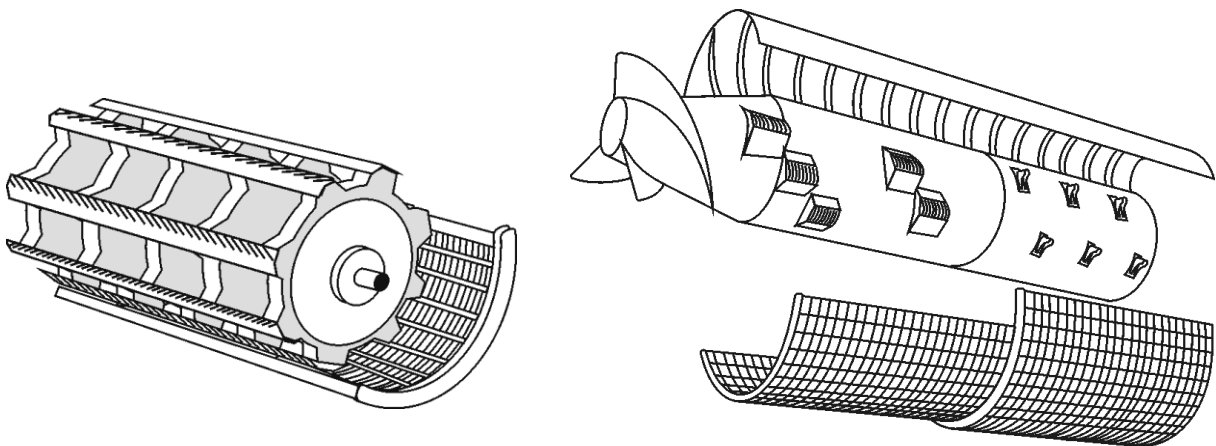


Fig. 49 Sistemas de trilla convencional (tangencial) y axial

En el sistema convencional la paja es expulsada del cilindro de trilla hacia arriba, por lo que cuenta con un cilindro batidor que redirige el material hacia atrás, al sistema de separación. Una rejilla de alambre similar a un peine va dispuesta por debajo del batidor, pudiéndose regular la separación entre ambos. En la medida que el peine se acerque al despajador, funcionan como una prolongación de la trilla, lo que se desaconseja con granos sensibles a daño mecánico (Bragachini & Casini, 2005).

En cosechadoras de gran tamaño con sistema de trilla convencional, puede hallarse un cilindro acelerador con anterioridad al cilindro de trilla. Por efecto de esta aceleración, al ingresar el cultivo a mayor velocidad al espacio entre cilindro y cóncavo, el impacto de la barras de trilla será menos agresivo, lo que es una ventaja en cultivos susceptibles al daño mecánico. Además el cilindro acelerador produce cierto porcentaje de trilla.

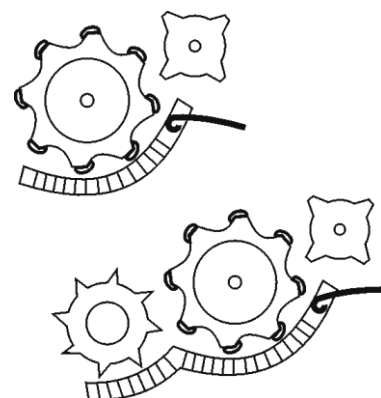


Fig. 50 Cilindro y cóncavo con batidor y peine. Abajo: se suma un cilindro acelerador.

Funcionamiento

Cuando el cultivo recolectado llega al sistema de trilla es forzado a pasar por el reducido espacio que queda entre el cilindro o rotor y el cóncavo. Al ingresar el cultivo es golpeado por el cilindro lo que comienza a desprender el grano. Dentro del sistema de trilla, el material que está en contacto con el cilindro es forzado a desplazarse a gran velocidad mientras que el material que está en contacto con el cóncavo es “frenado” ya que este último está fijo. De este modo se generan diferentes velocidades de desplazamiento provocando fricción dentro del material (puntos A, B y C de la figura), lo que permite que el grano se termine de desprender de las estructuras vegetales que lo contienen.

Durante el proceso de trilla se pueden distinguir tres procesos: el grano se desprende del cultivo, luego desciende a través de la paja hasta llegar al cóncavo y finalmente atraviesa el cóncavo separándose de la paja. Entre el 60 y el 90% del grano que ingresa a la cosechadora, se separa de la paja en el cóncavo de trilla (Srivastava et al 2006), pudiendo bajar a 50 o 60% en malas condiciones (Kutzbach & Quick 1999). Una consecuencia indeseada del trabajo del sistema de trilla es que parte de los granos son dañados.

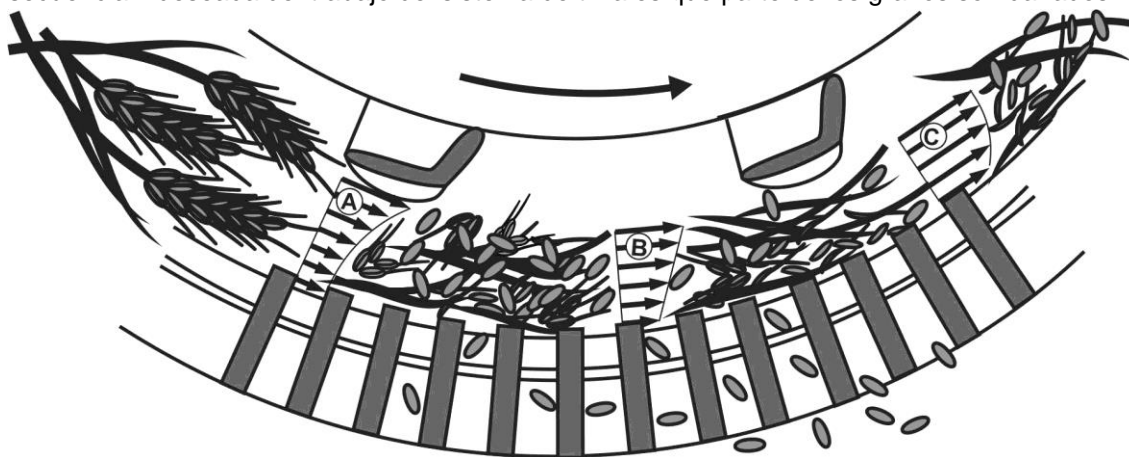


Fig. 51 Se observa el flujo del material recolectado dentro del sistema de trilla, donde el grano se desprende del cultivo y se comienza a separar del mismo. En los puntos A, B y C se distingue las diferentes velocidades a las que se desplaza el material al desplazarse entre el cóncavo fijo y el cilindro que gira a elevada velocidad.

Parámetros de evaluación del sistema

El desempeño del sistema de trilla se caracteriza por la eficiencia de los procesos mencionados:

1. La eficiencia de trilla es la medida de cuanto grano se desprende del cultivo que ingresa a la cosechadora. Durante la medición de pérdidas de cosecha, se intenta tener una medida de esta eficiencia al contabilizar el grano contenido en fragmentos de espigas mal trilladas.
2. La eficiencia de separación en el cóncavo depende de la cantidad de grano libre que atraviesa la paja y el cóncavo, referido al grano que ingresa a la cosechadora. La medición de este parámetro

no es sencilla por lo que solo se la realiza en casos muy puntuales. Sin embargo los parámetros de regulación, de diseño y del cultivo que mejoran la eficiencia de trilla, afectan del mismo modo a la eficiencia de separación en el cóncavo. Una baja eficiencia de separación en el cóncavo de trilla puede sobrecargar el trabajo del sistema de separación, aumentando las pérdidas de grano que caen junto con la paja, detrás de la cosechadora (perdidas por separación).

3. Porcentaje de grano partido o dañado en el sistema de trilla, se mide sobre una muestra tomada de la bandeja de grano o planchet. El grano partido se mide con una zaranda y el grano dañado con el método del hipoclorito (Bragachini & Casini, 2005)

Factores condicionantes

El desempeño del sistema de trilla depende de los siguientes factores (Srivastava et al 1993):

1. Factores de diseño.
 - Largo del cóncavo
 - Diámetro del cilindro
 - Cantidad y disposición de las barras trilladoras
2. Factores operativos.
 - Velocidad del cilindro
 - Separación cilindro/cóncavo.
 - Índice de alimentación.
3. Factores del cultivo.
 - Cultivo
 - Madurez
 - Humedad

Según las características del cultivo a trillar se modifican el régimen de giro del cilindro y/o la separación entre este y el cóncavo. Siempre que el cultivo este demasiado húmedo o presente otras condiciones que dificulten la trilla, se aumenta el régimen y se reduce la separación cilindro cóncavo, teniendo en cuenta que esto conlleva una mayor demanda de potencia y consumo de combustible. Las regulaciones inversas tienen lugar cuando se busca una trilla menos agresiva por ejemplo para disminuir el porcentaje de grano partido. Para facilitar el ingreso del cultivo al sistema de trilla, la separación entre cilindro y cóncavo será mayor en la parte anterior con respecto a la posterior.

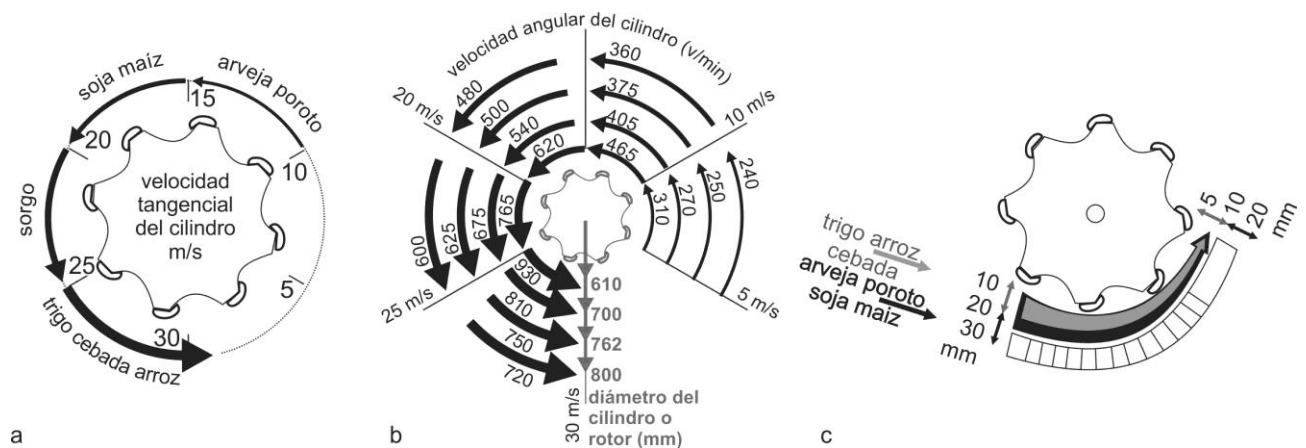


Fig. 52 Regulación de la intensidad de trilla: a) la velocidad tangencial del cilindro o rotor, se debe ajustar al cultivo cosechado y a su condición (para cada cultivo se presenta un rango de velocidades debido a que la trilla de un cultivo húmedo demanda una mayor velocidad que el mismo cultivo seco). b) La velocidad tangencial (m/s) adecuada para trillar un cultivo se va a corresponder con diferentes velocidades angulares (vueltas/minuto) según el diámetro del cilindro o rotor (los diámetros que figuran en el esquema corresponden a los rotores de cosechadoras axiales actuales). c) La separación entre el cilindro o rotor y el cóncavo, siempre debe ser mayor en el ingreso del cultivo respecto a la zona donde el cultivo es expulsado. La separación va a ser menor con cultivos que demandan mayor intensidad de trilla y cuando el cultivo está más húmedo (Las figuras están elaboradas a partir de Kepner, 1978; Kutzbach y Quick, 1999 y Miu, 2016. Los rangos de cada cultivo fueron ligeramente modificados para agruparlos en categorías. Las regulaciones de cada cosechadora deben realizarse con las indicaciones del manual correspondiente).

Cilindro de dedos

Entre las cosechadoras con cilindro y cóncavo, existen las que en lugar de barras de trilla, utilizan dedos o planchuelas para realizar el proceso de trilla. Mientras que los cilindros de barras se adaptan a una mayor cantidad de cultivos, su capacidad de trilla se dificulta en la cosecha de arroz a causa de la elevada cantidad de paja y su humedad. En este cultivo es más conveniente trillar con un cilindro de dedos (excepto en los casos en los que se recoge el cultivo con un cabezal stripper que deja la paja del cultivo fuera de la cosechadora), pero evitando fragmentar excesivamente la paja para no dificultar la separación y limpieza (Quick, 2003).

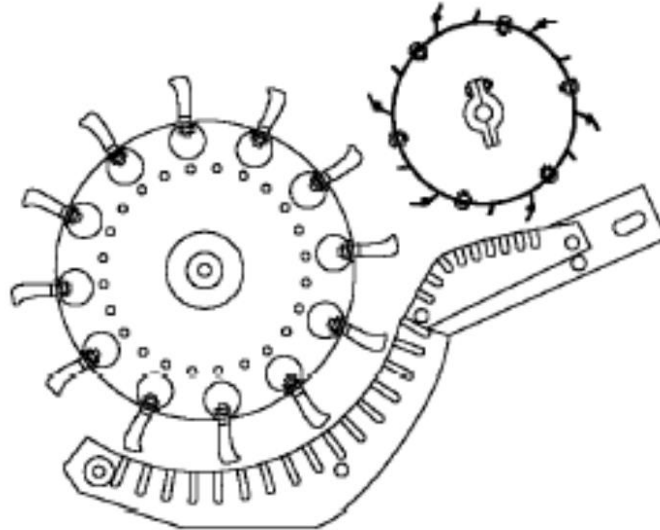


Fig. 53 Cilindro de dedos

La cantidad de dientes se puede ajustar a la intensidad de trilla necesaria y pueden estar dispuestos solo en el cilindro o también en el cóncavo. En este último caso la separación entre los dientes del cilindro y el cóncavo debe ser de al menos 4 mm (Pozzolo & Ferrari, 2007).



Fig. 54 Separación entre dientes del cilindro y el cóncavo.

Los cilindros de dedos se regulan elevando la velocidad de trilla sin llegar a producir daño al grano, pero dando mayor separación al cóncavo para evitar que la paja se rompa complicando la separación y limpieza del grano.

Desde el punto de vista del porcentaje de grano quebrado el cilindro de dientes, a pesar de ser el que presenta más dificultades en su regulación, es el que permite obtener los menores valores siendo entonces el más aconsejado. El porcentaje de granos quebrados es uno de los factores más importantes en la determinación del precio de comercialización del arroz.

SISTEMA DE SEPARACIÓN

En el sistema de separación el grano y la granza se terminan de separar del material de mayor tamaño que es la paja, que es expulsada fuera de la cosechadora (entre el 50 y el 90% de la separación se completa previamente en el sistema de trilla). Durante el proceso de separación, el grano se debe desprender de la paja, llegando hasta una serie de rejillas que debe atravesar, quedando la paja sobre las mismas hasta que es arrojada fuera de la cosechadora. Al ser este un proceso de separación por tamaño, el grano se desprende de la paja pero no de la granza (fragmentos finos del material no grano). Existen distintos sistemas de separación según cuál es la fuerza que actúa apartando el grano de la paja, que puede ser la fuerza de la gravedad o la fuerza centrífuga:

- Separación convencional con sacapajas, donde se aprovecha la fuerza de la gravedad.
- Separación centrífuga con uno o más rotores (axial o separación axial).

Separación con sacapajas

El sacapajas consiste de una serie de bandejas largas con unas rejillas en su parte superior, que permiten el colado del grano y la granza, pero no de la paja. Las bandejas van más elevadas en la parte posterior y dispuestas sobre un cigüeñal que las hace desplazarse en una trayectoria circular que impulsa la paja mediante pequeños saltos. Los bordes de las bandejas del sacapajas son aserrados de forma de impulsar la paja cuando se desplazan hacia atrás y luego frenar su retorno. El grano y la granza caen en la base de las bandejas que al estar más elevadas en su parte posterior, provocan que y de ahí se desplaza hacia delante para terminar en el sistema de limpieza. Cuando el sacapajas sube impulsado por el cigüeñal, impulsa la paja y el grano, provocando el salto de los mismos. Durante el salto la paja se expande, permitiendo que los granos que se separen.

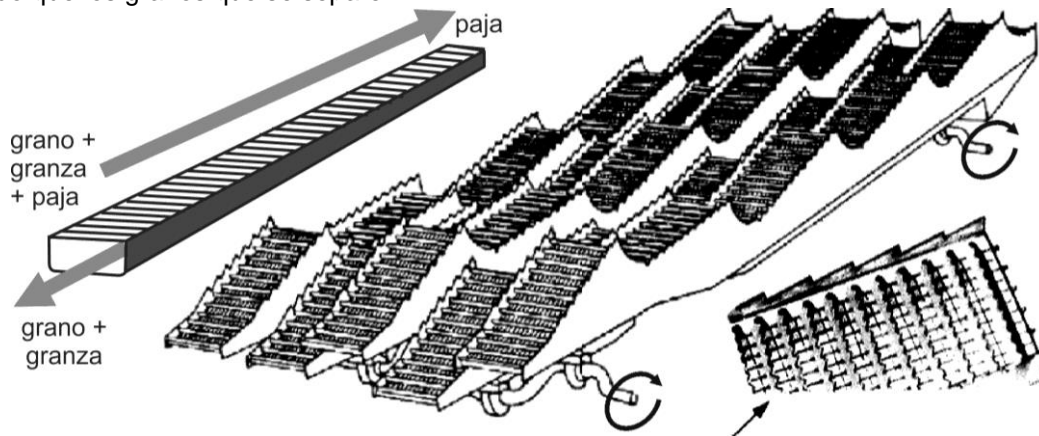


Fig. 55 Sacapajas

El sacapajas fue la tecnología de separación utilizada en todas las cosechadoras hasta la aparición de las cosechadoras axiales a mediados de los años setenta. Los primeros estudios comparativos de sistemas de separación demostraron que al aumentar el índice de alimentación, las pérdidas de granos crecían exponencialmente en cosechadoras con sacapajas, mientras que aumentaban muy poco en las cosechadoras axiales (con separación centrífuga). Esto llevó a que la separación con sacapajas quedó limitada a las cosechadoras de menor potencia (trabajan con menores índices de alimentación).

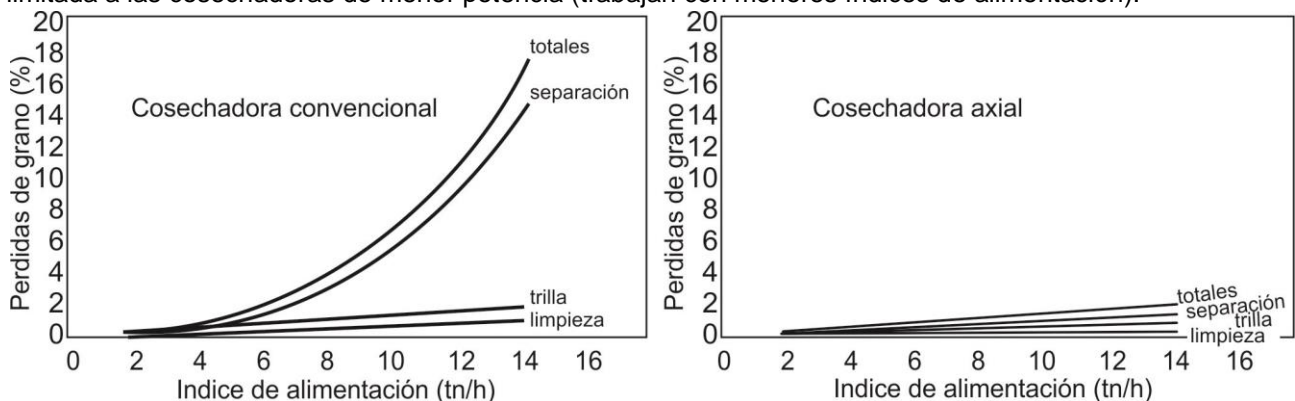


Fig. 56 Diferente desempeño de los sistemas de separación (Wrubleski & Smith, 1979).

Factores que inciden en la capacidad de separación del sacapajas

- La velocidad de flujo del material.
- El régimen de rotación del sacapajas (entre 180 y 270 rpm)
- Radio del cigüeñal (entre 40 y 60 mm)
- Ángulos de grillas y saltos
- El largo del sacapajas (2,75 a 4,5 m)
- La cantidad de saltos (4 a 11)
- Sistema de grilla

La velocidad de flujo del material

Si el material avanza con demasiada velocidad sobre el sacapaja, es expulsado de la cosechadora sin que todo el grano haya tenido oportunidad de ser separado, reduciendo la eficiencia de separación. Por otra parte, si la paja avanza con lentitud se genera una capa de paja más alta, más densa y más difícil de atravesar para el grano que tiene que separarse, reduciéndose también la eficiencia de separación. Por lo tanto hay una velocidad óptima de flujo sobre el sacapajas, a la cual se minimizan las pérdidas de grano (ver figura). Esta velocidad óptima depende del índice de alimentación, ya que a una misma velocidad de flujo si la cantidad de paja es mayor (más índice de alimentación), habrá una mayor dificultad para que el grano se separe de la misma, provocando que la velocidad óptima de separación aumente al aumentar el índice de alimentación (ver figura). La reducción de la eficiencia de separación al apartarse de la velocidad óptima, es mucho más marcada cuando la velocidad se reduce que cuando la velocidad aumenta (Ver las pendientes de las curvas en la figura).

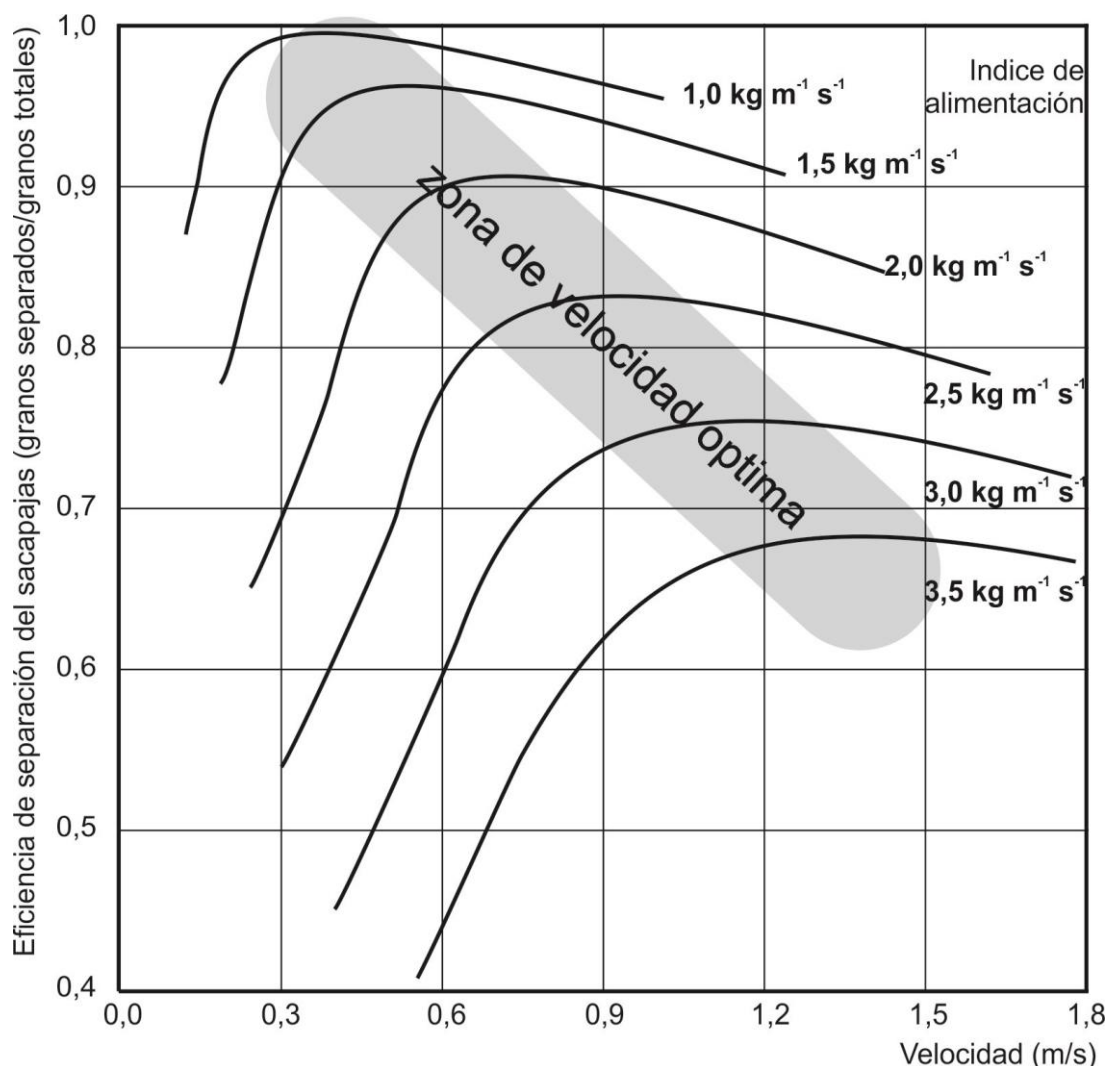


Fig. 57 Eficiencia de separación del sacapajas en función del índice de alimentación y la velocidad.

Cualquiera que sea la velocidad de flujo del material en el sacapajas, estará influenciada por el régimen de rotación del sacapajas, el radio del cigüeñal y los ángulos de grillas y saltos.

Régimen de rotación del sacapajas

En la medida que los saltos que realiza el material en el sacapajas se completan más rápido aumentando el régimen del cigüeñal, la paja es expulsada más rápidamente. En la mayoría de las cosechadoras el régimen se encuentra entre 180 y 270 vueltas por minuto y no es un parámetro que se pueda regular, sino que es una característica de diseño. Recientemente algunas cosechadoras incorporaron una variación del régimen de rotación del sacapajas, que se produce de forma automática para sostener la velocidad de flujo del material cuando está puede variar por cosechar en pendientes, ya sean positivas o negativas.

Radio de giro del cigüeñal

Cuanto mayor sea el radio, más largos van a ser los saltos con los que es impulsado el material en el sacapajas, provocando que aumente la velocidad de flujo de la paja. En la mayoría de las cosechadoras está varía entre 40 y 60 mm, siendo una característica de diseño de las mismas.

Ángulos de grillas y saltos.

Hay dos ángulos en el sacapaja que influyen sobre la velocidad de flujo del material y por lo tanto sobre la eficiencia de separación. Estos ángulos son (a) el de la superficie del sacapaja respecto al nivel de la cosechadora y (b) el de la pared de cada salto respecto a la superficie del sacapaja restándole 90 grados (ver la figura). Como se observa en la figura, el incremento del ángulo a, reduce la velocidad de avance del material sobre el sacapaja. Esto es evidente ya que si se puede elevar la parte posterior del sacapaja, aumentando el ángulo a, se dificulta el avance de la paja. Por otro lado el incremento del ángulo b también reduce la velocidad de avance del material.

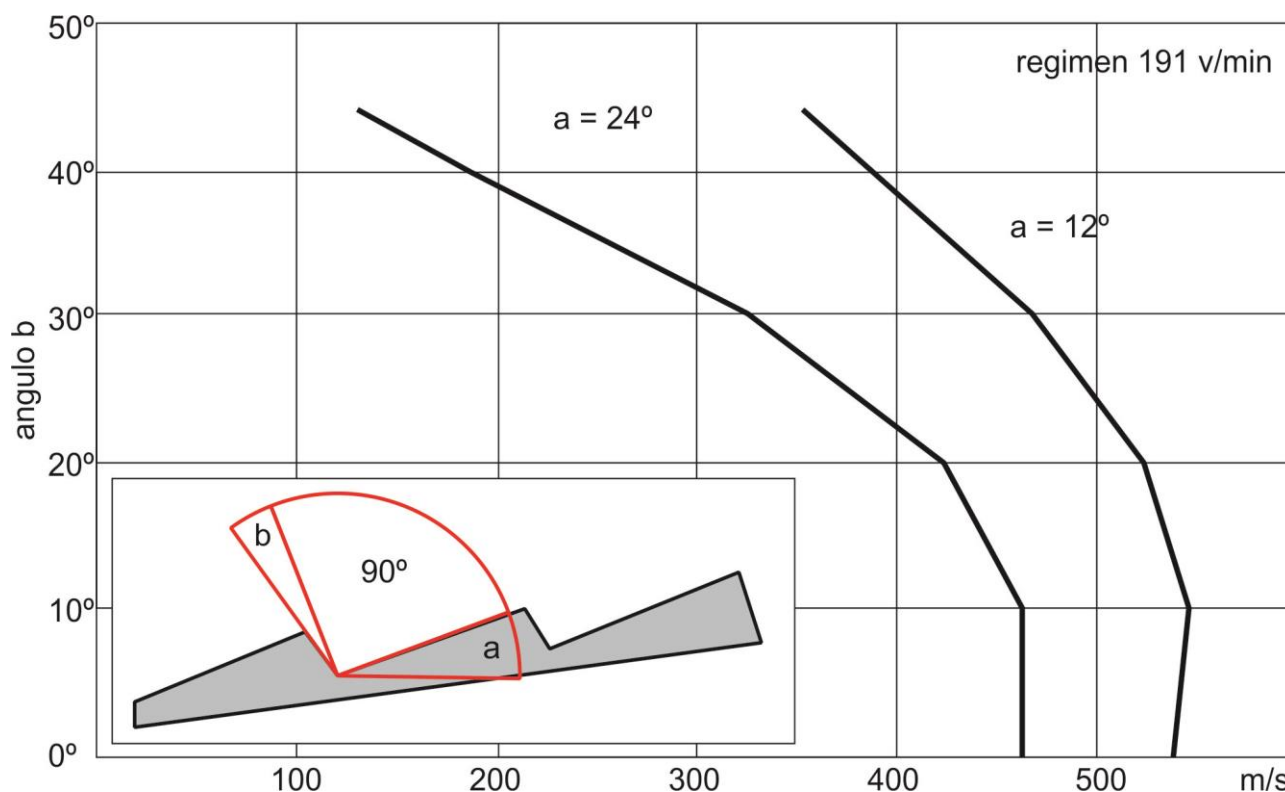


Fig. 58 Influencia de los ángulos de grilla y salto sobre la velocidad de flujo del material.

El largo del sacapajas y la cantidad de saltos

Por otra parte el aumento del largo del sacapajas y de la cantidad de saltos, mejoran la capacidad de separación del sacapajas.

Sistema de grilla

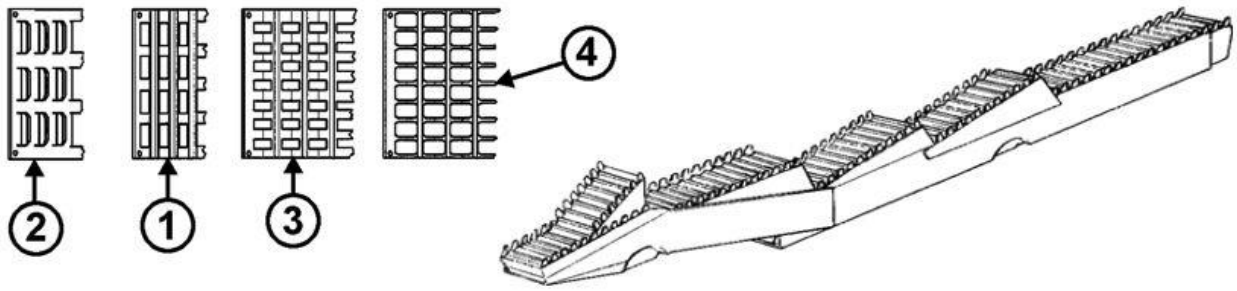
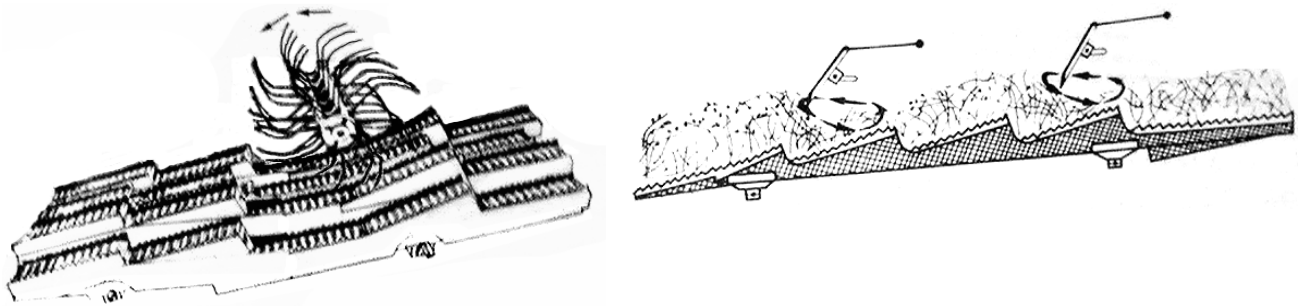


Fig. 59 Sistemas de grilla: 1. Orificios rectangulares transversales son indicados para cosecha de arroz. 2. Orificios "Lengua de sapo" son adecuados para cualquier tipo de cultivos. 3. Orificios rectangulares longitudinales son adecuados para granos finos como trigo. 4. Orificios rectangulares longitudinales de flujo elevado son adecuados para cultivos de alto rendimiento.

Elementos que aumentan la capacidad de separación del sacapajas

Para poder mantener la capacidad de separación de los sacapajas ante el constante aumento de la capacidad de trabajo de las cosechadoras, se recurrió a dotarlos con sistemas que asisten a la separación, como el rotor agitador transversal o el sacudidor intensivo. Ambos son sistemas que mediante unos dientes sacuden y esponjan la paja para que el grano pueda colar más fácilmente (Bragachini & Casini, 2005; Kutzbach & Quick, 1999),.



Rotor agitador transversal

Sacudidor intensivo

Fig. 60 Diferentes sistemas que asisten a la capacidad de separación

Otra alternativa es la colocación de lonas colgantes al inicio del sacapajas: el material que sale del sistema de trilla puede ser arrojado de forma tal que cae en una porción intermedia del sacapajas, disminuyendo el recorrido sobre el mismo y las posibilidades de que el grano sea separado de la paja. Por tal motivo la colocación de las lonas al inicio del sacapajas asegura que el material recorra el sistema de separación en todo su recorrido

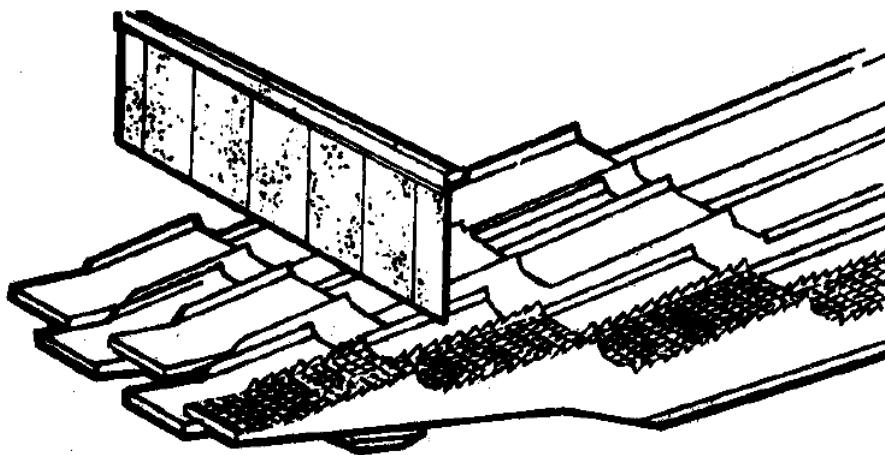


Fig. 61 Lonas al ingreso del sacapajas

Separación centrífuga

Otra alternativa para mantener la capacidad de separación ante el aumento del índice de alimentación en cosechadoras de mayor capacidad de trabajo, fue reemplazar los sacapajas con rotores que utilizan para separar el grano valores de fuerza centrífuga 50 a 100 veces superiores a la fuerza de la gravedad utilizada en el sacapajas (Kutzbach & Quick, 1999). Los rotores son cilindros rodeados por una rejilla cóncava, quedando en medio de estos, un estrecho espacio anular donde entra el material que sale del sistema de trilla. Mientras que el cóncavo permanece fijo, el rotor gira impulsando el material mediante unas paletas alternadas sobre la superficie del mismo.

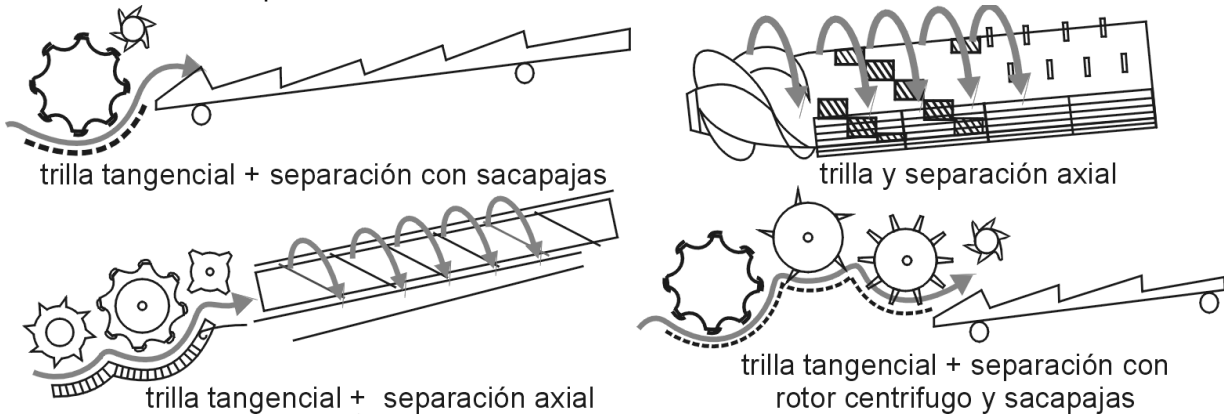


Fig. 62 Existen diferentes tipos de cosechadoras que utilizan la separación centrífuga en reemplazo del sacapajas: 1) Cosechadoras con cilindro y cóncavo de trilla convencionales y dos rotores de separación axiales. El incremento de la capacidad que se logra con la separación centrífuga es acompañado en el sistema de trilla con el agregado de un rotor acelerador que incrementa la capacidad del sistema. 2) Cosechadoras con uno o dos rotores que realizan la trilla y separación. Generalmente llevan dispuestas barras de trilla en la parte anterior y dedos que mueven el material para generar la separación centrífuga en la parte posterior. Algunas cosechadoras llevan intercalados a lo largo del rotor los elementos de trilla y separación. 3) Otro tipo de cosechadoras llevan cilindro y cóncavo de trilla tangenciales y sacapajas, pero llevan en el medio rotores de separación centrífuga dispuestos transversales al sentido de avance de la cosechadora.

SISTEMA DE LIMPIEZA

El sistema de limpieza se encarga de separar el grano de la granza mediante la acción de una corriente de aire y la agitación mecánica. En la Fig. 63 se observan sus partes.

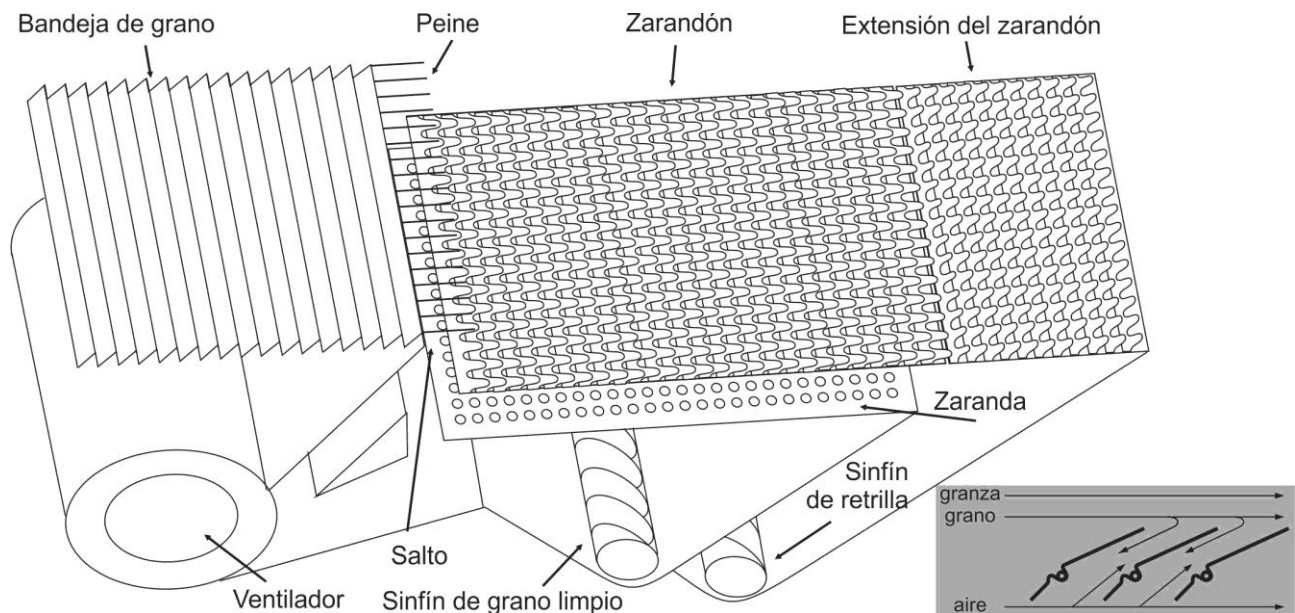


Fig. 63 Esquema del sistema de limpieza.

Al sistema de limpieza de la cosechadora llega desde los sistemas de trilla y separación, una mezcla de grano, grano mal trillado, granza y fragmentos cortos de paja. Todo este material es recibido por una bandeja de grano o planchet. La bandeja oscila longitudinalmente trasladando el material hacia atrás hasta el zarandón. Al mismo tiempo la combinación del movimiento de la bandeja y su superficie corrugada, estratifica el material en dos capas: una inferior con el grano y otra superior con la granza y la paja corta. Al llegar al final de la bandeja hay un salto donde el grano cae al zarandón mientras un peine demora la caída del resto del material. En el salto de la bandeja al zarandón todo el material es atravesado por una corriente de aire generada por un ventilador. El caudal de aire debe ser suficiente para que pueda arrastrar la granza y paja corta fuera de la cosechadora, pero no tanto como para que expulse el grano, que debe caer sobre la caja de zarandas. En caso de que la velocidad del viento no sea suficiente, parte de la granza va a caer sobre la caja de zarandas.

La caja de zarandas generalmente está formada por un zarandón y una zaranda. Mientras que el zarandón es un conjunto de listones con dedos, regulables como una persiana americana, la zaranda es una chapa con orificios de diámetro de paso fijo. Los listones del zarandón se regulan para permitir que cuele solo el grano y la zaranda se selecciona con un diámetro de orificios acorde para que cuele el grano. En algunas cosechadoras la caja de zarandas está formada por dos o tres zarandones.

Parte del caudal de aire generado por el ventilador, atraviesa en sentido ascendente los orificios de la zaranda y el zarandón expulsando la granza que se hubiera depositado, al tiempo que el grano cuele hasta llegar al sinfín de grano limpio. La caja de zarandas está sometida a un movimiento de oscilación longitudinal que permite esponjar la granza para facilitar la acción del viento en caso de que este fuera insuficiente.

Como a lo largo de la caja de zarandas, el grano va colando y la granza va siendo expulsada, es conveniente que el viento que lo atraviesa esté más concentrado en la parte delantera del zarandón, donde hay más cantidad de material. Por el contrario, cuando el caudal de aire se distribuye en forma uniforme en todo el largo de la caja de zarandas, aumentan las pérdidas de cosecha (Dahany, 1994). Generalmente existen unas aletas para direccionar el caudal de aire en tal sentido.

Al final del zarandón se dispone de una extensión del mismo, que se regula con mayor apertura para que en este puedan colar los granos mal trillados que por estar agrupados en espigas o vainas, no podrían colar en el zarandón. Este material junto con el que pasa por el zarandón pero no por la zaranda, cae en un sinfín que lo envía a retrilla.

En el sistema de limpieza, el caudal de aire generado por el ventilador se debe regular de modo de minimizar las pérdidas. En la Fig. 64 A tomada de Bainer et al. (1955), se observa, que hay un porcentaje mínimo de granos perdidos para un determinado caudal de aire. En la Fig. 64 B tomada de (Gorial 1990), se observan las causas de dicho comportamiento: la granza por su densidad y su forma, es impulsada fuera de la cosechadora con una velocidad del aire inferior a la necesaria para impulsar el grano. En la Fig. 64 C se observa que a velocidades del viento muy bajas se produce la fase de saturación en la que no se expulsa ni la granza, esta tapa las zarandas y no permite el colado del grano que va a terminar cayendo fuera de la cosechadora. Por el contrario si la velocidad del viento es demasiado elevada, se produce la fase de soplado, en la que tanto la granza como el grano van a ser expulsadas por el viento. La forma de minimizar las pérdidas de granos es regular el caudal de aire en un rango intermedio para que la velocidad del viento genere un fluido de aire y granza de forma de expulsar esta última y no el grano. Esta fase se conoce como de fluidización. Debe considerarse que los cultivos tienen diferentes requerimientos de velocidad del viento, siendo los más complicados de limpiar los cultivos como el girasol, donde se superponen las curvas de granza y grano (figura xB).

Mientras que en las Fig. 64 B y C se observa como el material se va fluidizando al aumentar la velocidad del viento. En las Fig. 64 D y E se observa como para un caudal de aire constante, el índice de alimentación condiciona la velocidad del aire: a bajos índices de alimentación el caudal de aire no tiene freno alcanzando una velocidad a la cual se expulsa tanto granza como grano (fase de soplado), en el otro extremo con altos índices de alimentación, la velocidad del aire decae hasta que ya no se expulsa toda la granza y esta dificulta el colado del grano, aumentando las pérdidas (fase de saturación). En la Fig. 64 F se observa como las pérdidas aumentan exponencialmente tanto con el índice de alimentación como con la velocidad del aire. Del análisis de los dos parámetros en conjunto encuentran que para cada valor de índice de alimentación hay un valor de velocidad de aire que produce el mínimo nivel de pérdidas (Bottinger & Kutzbach, 1987). Para hallar ese mínimo nivel de pérdidas, al inicio de la jornada de cosecha se deben realizar mediciones de pérdidas de cosecha para un índice de alimentación promedio y diferentes caudales de aire hasta encontrar el más adecuado. Como se observa en la Fig. 64 F, variaciones en el índice de alimentación o el caudal de aire durante la jornada, implicarían tener que volver a medir pérdidas para encontrar el punto óptimo. Por lo tanto, una vez regulada la cosechadora, el operador de ajusta la velocidad de avance ante variaciones del rendimiento del lote, de forma de mantener el índice de alimentación y el caudal de aire que minimicen las pérdidas.

El efecto del viento en la separación de la granza, se puede compensar con agitación mecánica hasta cierto punto. Hay una velocidad del aire mínima, por debajo de la cual las impurezas en el grano que va a la tolva superan la tolerancia (Fig. 64 G).

$$\text{Índice de agitación (Frv)} = a \omega^2 \sin(\beta - \alpha) / (g \cos \alpha)$$

a = amplitud de oscilación β = dirección

$$\omega = 2\pi f$$

α = inclinación de las zarandas

f = frecuencia

g = constante aceleración de la gravedad

Índice de agitación es la relación entre componentes perpendiculares a la zaranda, aceleración de la oscilación y la gravedad. Para los sistemas de limpieza modernos el flight number es aproximadamente 1. Los valores típicos para los parámetros mecánicos son: $a = 17-38$ mm, $f = 4,3 - 6$ Hz, $\alpha = 0 - 5^\circ$ y $\beta = 23-33^\circ$.

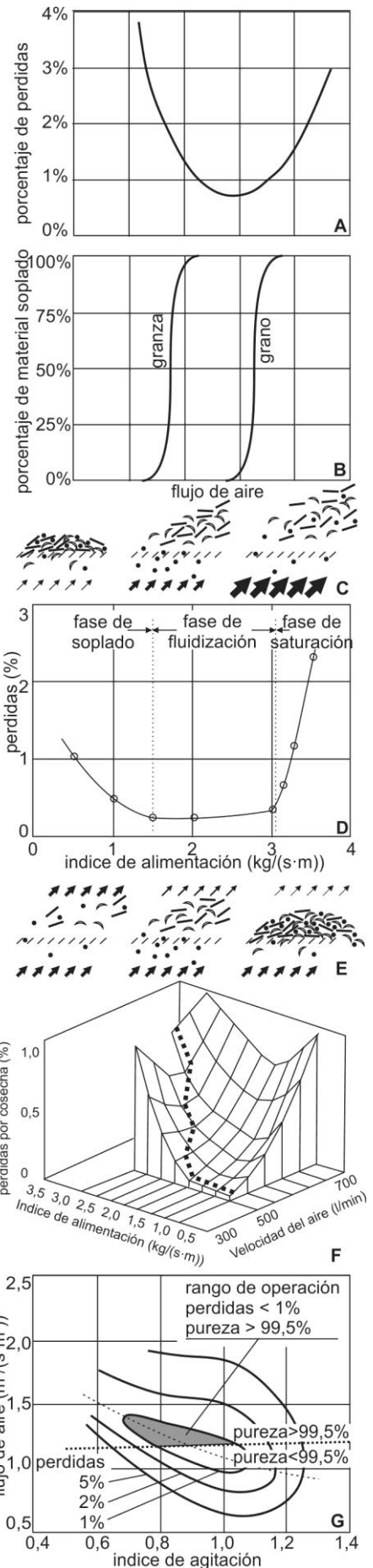
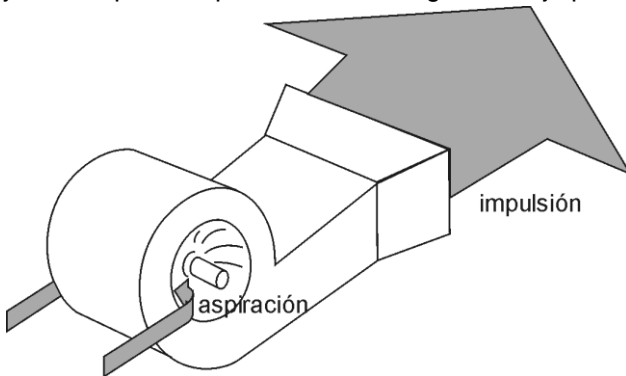


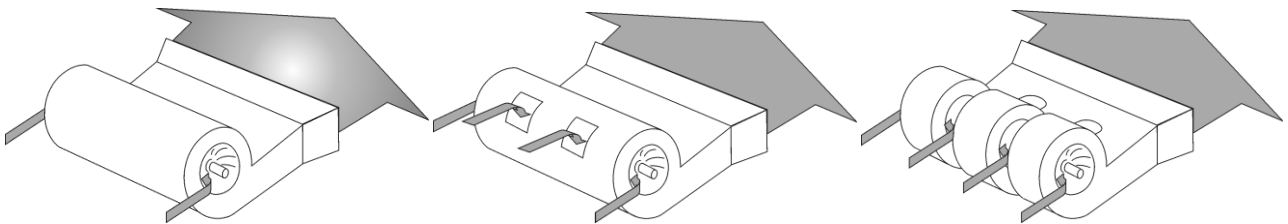
Fig. 64 Fundamentos del proceso de limpieza

Ventiladores

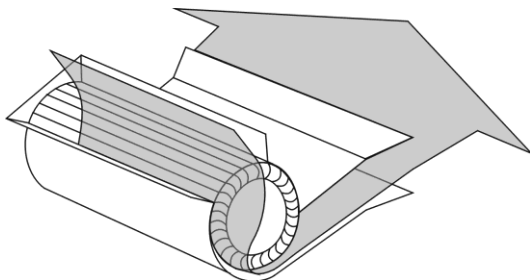
Los ventiladores centrífugos están formados por un rotor o tambor provisto de aletas que gira dentro de una caja cilíndrica. El aire ingresa a la caja por los orificios laterales de aspiración en el sentido del eje del rotor y sale impulsado por las aletas, tangente al eje por el orificio de impulsión.



Con el incremento de la capacidad de las cosechadoras, el sistema de limpieza se ha ido ampliando para poder separar mayores cantidades de grano y granza. Esto representó una dificultad para los ventiladores centrífugos que al tener que diseñarse tan anchos, el aire que entraba por los extremos de su eje no llegaba en cantidad suficiente al centro para garantizar un flujo uniforme en todo el ancho del sistema de limpieza. Los fabricantes recurrieron a diferentes alternativas como disponer de orificios de admisión centrales o colocar varios ventiladores de menor ancho.

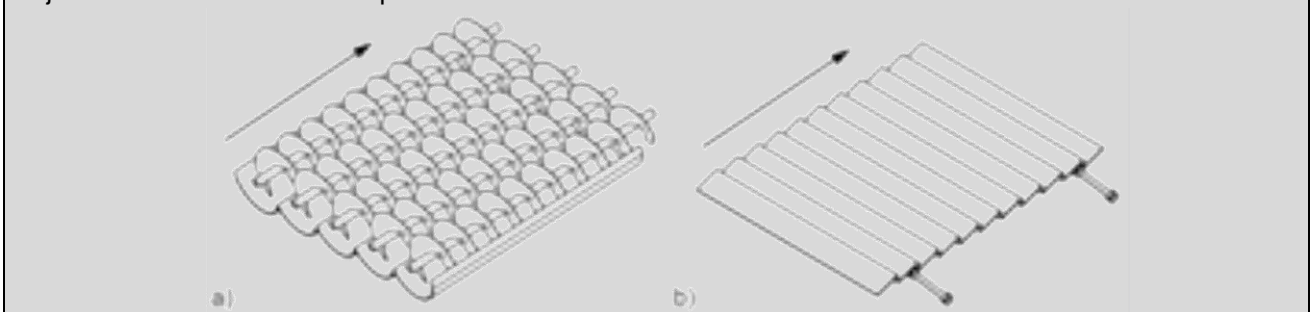


Otra alternativa han sido los ventiladores de flujo cruzado, que son de construcción similar a los centrífugos pero el ingreso del aire no se produce en los extremos del eje de rotación, sino tangente a este, de la misma manera que la salida del mismo. Por tal motivo el flujo del aire cruza al ingreso y a la salida las aletas del ventilador.



Mientras que los ventiladores de flujo cruzado entregan un caudal de aire más uniforme en toda la superficie de la caja de zarandas, tienen una eficiencia más baja, por lo que demandan más potencia.

Fig. 65 . Si bien se comprobaron las ventajas de la estratificación entre grano y granza que genera un planchet corrugado (Schwarz, 2018)., en muchos sistemas de limpieza el transporte del material hasta la caja de zarandas es realizado por sinfines de cielo abierto.



SISTEMA DE RETRILLA

En el sistema de trilla siempre queda un porcentaje de grano sin desprenderse y que no va a poder colar en las zarandas donde solo pasan los granos sueltos. La presencia de un sistema de retrilla en una cosechadora tiene por función evitar que granos incompletamente trillados se pierdan por cola.

Al sistema de retrilla llega todo el material que no es arrastrado fuera de la cosechadora por el viento en el sistema de limpieza, no es tan pequeño como para atravesar la zaranda, pero si suficientemente pequeño para atravesar el zarandón o su extensión

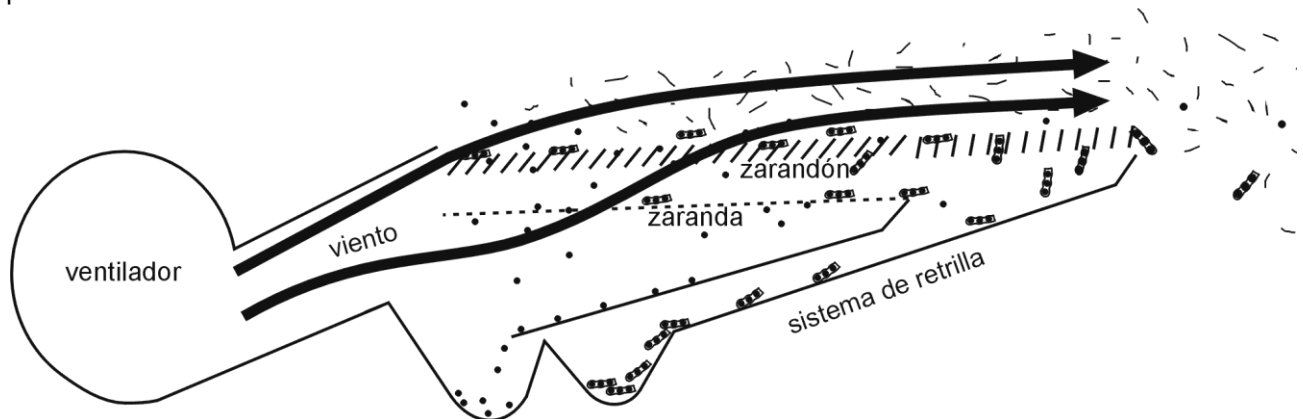


Fig. 66 Esquema del flujo de aire en el sistema de limpieza.

Este material es conducido nuevamente al sistema de trilla o retrillado en un dispositivo aparte. Las cosechadoras modernas cuentan con mecanismos para medir la cantidad de material que llega a retrilla, generando una señal cuando se sobrepasa valores aceptables. Debe tenerse en cuenta que los factores que provocan el incremento del material que llega a la retrilla, son los mismos que determinan el incremento en la cantidad de grano que cae fuera de la cosechadora como pérdidas. Por lo tanto el registro del volumen de material en la retrilla es un indicador indirecto del nivel de pérdidas de cosecha.

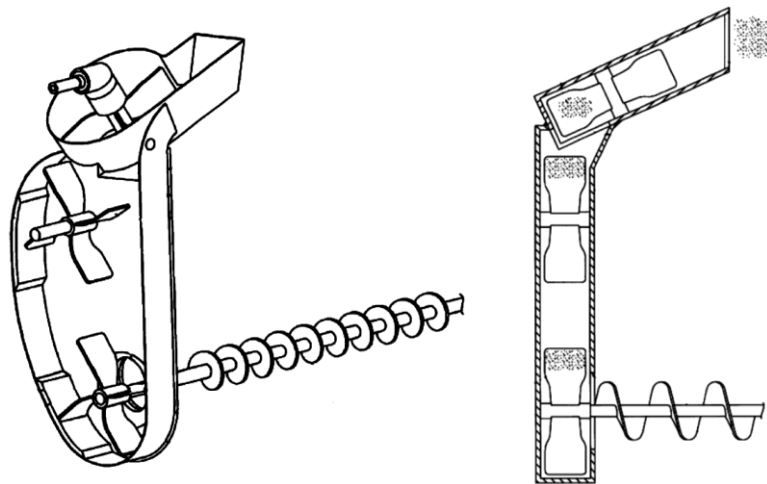


Fig. 67 Sistema de retrilla independiente. El material no es enviado al sistema de trilla nuevamente para no sobrecargarlo y se trilla por impacto en este dispositivo. Las paletas miden el volumen de material a trillar (Schmidt & Matousek, 2006).

Regulación

Sin embargo un exceso de caudal de aire puede provocar que parte de los granos sueltos que deberían colar por las zarandas, terminen en la retrilla y en parte caen fuera de la cosechadora. Cuando la velocidad del viento es escasa, parte de la granza cae sobre las zarandas, por lo que el grano no llega limpio a la tolva. Si la velocidad del viento es más baja aun, la granza que cae sobre las zarandas comienza a obstruir el colado del grano y este se desplaza hasta la retrilla y en parte cae por detrás de la cosechadora junto con la granza.

Si bien el sistema de retrilla tiene por función recoger espigas o vainas mal trilladas (que aún conservan granos), en la práctica estos son un pequeño porcentaje del material que ingresa a retrilla, generalmente menos del 20% (Hollatz & Quick, 2003).

SISTEMA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE COSECHA.

Los residuos de cosecha que son expulsados de los sistemas de separación y limpieza, fundamentalmente paja y granza, tradicionalmente formaban una hilera detrás de la cosechadora, referida como “cola de cosecha”. Estos residuos de cosecha hilerados pueden ser recolectados en fardos o rollos, pero si se los desparrama por detrás de la cosechadora en un ancho semejante al del cabezal de corte, la cobertura del suelo lograda contribuye a controlar la erosión, acumular agua en el perfil y preservar la materia orgánica. En sistemas de siembra directa cuando los residuos de cosecha son voluminosos, si no se los desparrama uniformemente, su concentración genera dificultades para los trenes de siembra en el cultivo posterior, además de dificultar el calentamiento del suelo y favorecer el desarrollo de plagas.

Existen diferentes mecanismos para el manejo de los residuos de cosecha, que consiste en el picado de la paja en fragmentos más pequeños y uniformes y mecanismos para su distribución.

Picador de paja o triturador desparramador: es un cilindro rotativo con cuchillas, dispuesto a la salida del sistema de separación, en forma transversal al sentido de avance de la cosechadora. Las cuchillas con una extensión en forma de aleta generan una corriente de aire facilitando la expulsión de la paja picada. La presencia de una tabla con alabes curvos por detrás del cilindro picador, direcciona el flujo de aire y paja a lo ancho la cosechadora, presentándose dificultades para desparramar la paja en franjas de más de 10 metros de ancho.

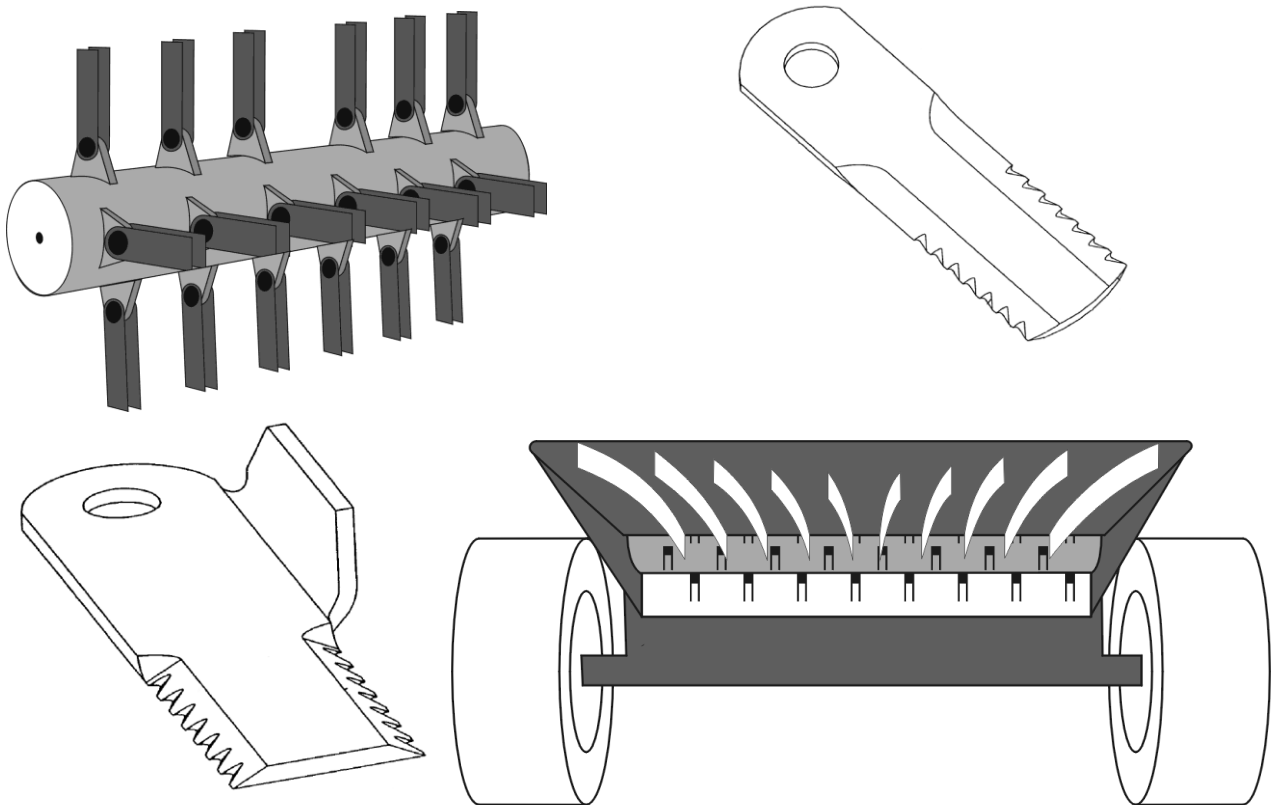


Fig. 68 vista posterior de un cilindro picador y cubierta con guías para distribuir los residuos de cosecha.

Cuando el ancho de corte del cabezal supera los 10 metros, la paja picada debe ser desparramada por un desparramador centrífugo. Es importante que la paja picada no caiga sobre el desparramador, sino que ingrese al mismo sin cambiar su trayectoria para no perder la energía cinética que le aporta el picador. Las aletas impulsoras dispuestas por debajo del disco desparramador aseguran que en caso de que ingrese demasiada paja al mecanismo el exceso caerá sin generar obturaciones.

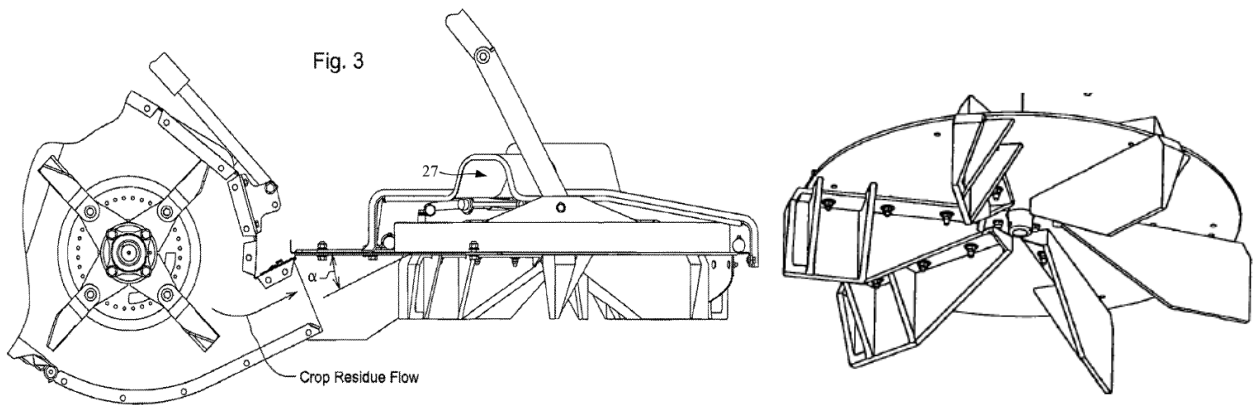


Fig. 69 vista lateral de un cilindro picador con un desparramador centrifugo para distribuir los residuos de cosecha a mayor distancia (US Pat. 7331855).

Algunas cosechadoras presentan junto con el picador y el desparramador de paja, un disco acelerador centrifugo de granza, que entrega esta ultima al desparramador junto con la paja.

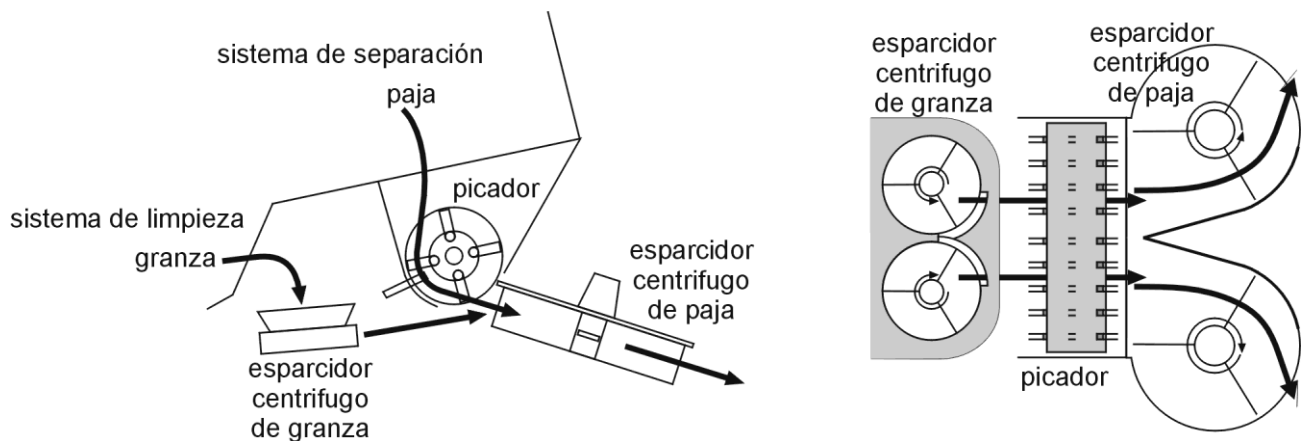
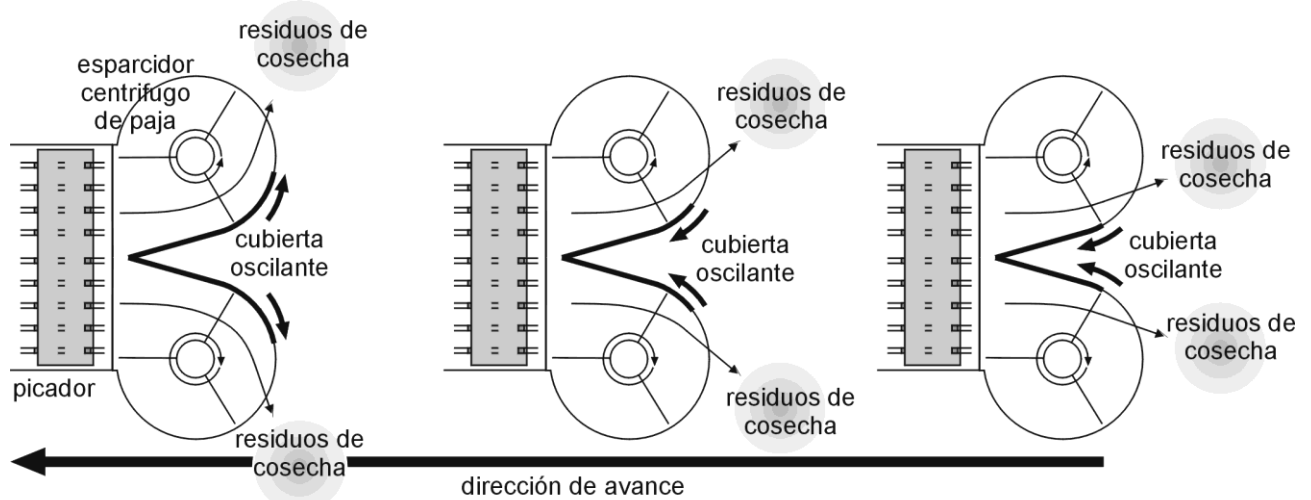


Fig. 70 Vista lateral y superior. (adaptado de US Pat. 6663485)

En las regiones donde el clima favorece una rápida degradación de los residuos de cosecha, no es recomendable picarlos porque el suelo se queda rápidamente sin cobertura. En estos casos...

Distribución de los residuos de cosecha.



TRANSMISION

En las cosechadoras el motor debe transmitir potencia a las ruedas y a todos los sistemas encargados de procesar el grano.

Para el sistema de trilla, el régimen del cilindro o rotor se ajusta al índice de alimentación con el que se va a trabajar, de forma de trillar el mayor porcentaje de grano posible sin generar daños que reduzcan su calidad. Para poder ajustar el régimen del cilindro a cualquier índice de alimentación, la transmisión no puede contar con solo un número acotado de relaciones de transmisión, sino que debe ser variable y continua. Esto se logra con una transmisión de correa y polea variadora o con una transmisión hidrostática.

Si variara el índice de alimentación, se debería variar el régimen del cilindro y controlar nuevamente que no esté quedando demasiado grano sin trillar porque el régimen es muy bajo o por el contrario, que no se esté dañando demasiado el grano porque el régimen es demasiado elevado. Para evitar regular todo nuevamente, el régimen del cilindro se mantiene constante luego de ajustarlo al inicio de la cosecha y si el rendimiento del cultivo varía a lo largo del lote a cosechar, se ajusta la velocidad de avance para mantener constante el índice de alimentación para el que se reguló la cosechadora. Como el rendimiento del cultivo puede variar en un rango continuo, la velocidad de avance de la cosechadora también va a tener que variar en forma continua, por lo que la transmisión del motor al eje motriz también debe ser variable y continua.

Transmisión con correa y polea variadora

Como se observa en la figura, las poleas están formadas por dos conos que se pueden desplazar sobre su eje, acercándose o separándose, variando la relación de transmisión en forma continua.

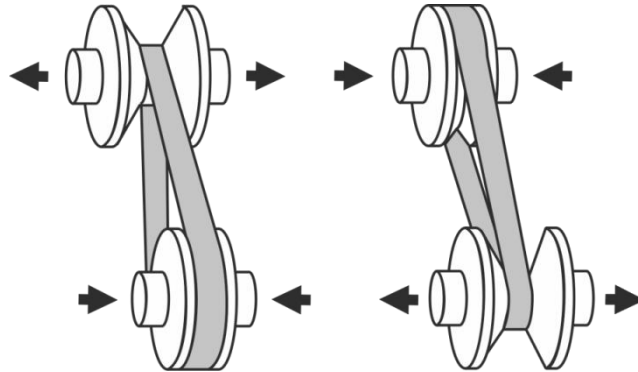


Fig. 71 transmisión variable continua con correa y polea variadora.

La transmisión con correa y polea vareadora, si bien es continua, tiene como limitación que varía el régimen en un rango acotado, por lo que lleva una caja de marchas (generalmente dos en la transmisión al cilindro y cuatro en la transmisión a las ruedas) y un embrague para realizar los cambios. De este modo por ejemplo el operador selecciona para el sistema de trilla entre dos rangos, con un cambio de 300 a 800 vueltas y con el otro cambio de 600 a 1600 vueltas. Luego con la palanca que acciona la polea variadora, varía el régimen dentro del rango seleccionado.

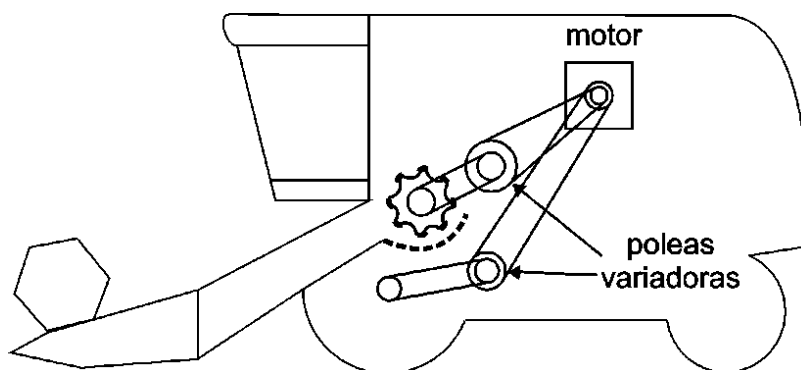
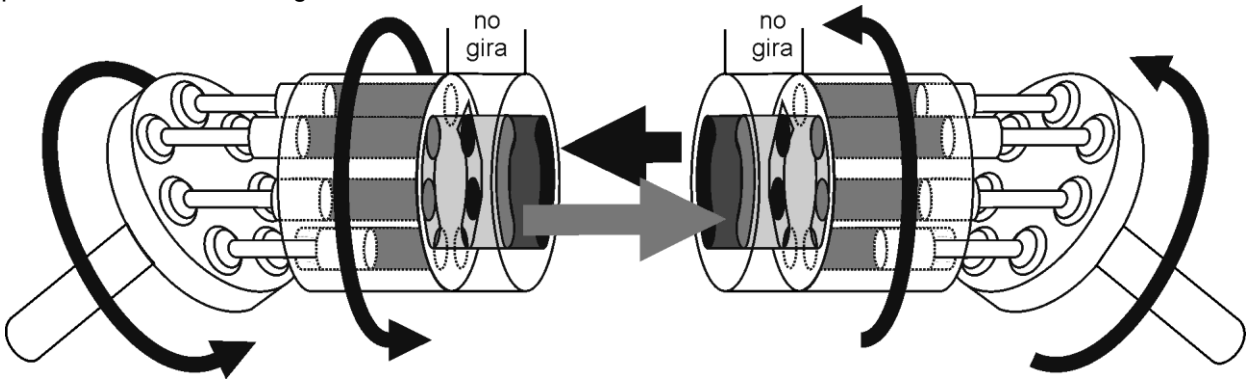


Fig. 72 se observa como la transmisión al cilindro y a las ruedas es independiente, pudiendo ajustarse el régimen de cada uno sin modificar el régimen del motor, al variar la relación de transmisión con la polea variadora.

Transmisión hidrostática

En la medida que ha ido aumentando la capacidad de las cosechadoras, el incremento del par o torque que deben transmitir las correas, acorta la vida útil de las mismas. En estas cosechadoras de gran capacidad, generalmente axiales, es necesario invertir el sentido de giro del rotor en caso de obturarse con el cultivo que está siendo trillado, lo que representa una dificultad extra para las correas y el embrague, debido a la alta inercia del rotor. Por estos motivos en las cosechadoras de mayor capacidad las transmisiones hidrostáticas van sustituyendo a las de correas.

Las transmisiones hidrostáticas generalmente están compuestas por un conjunto de bomba y motor de pistones axiales vinculados por tuberías que conducen el fluido hidráulico. Variando el ángulo del plato portapistones se logra la variación continua de la relación de transmisión y la inversión del sentido de giro, prescindiendo del embrague.



Transmisiones ramificadas

Si bien las transmisiones hidrostáticas tienen la ventaja de presentar un rango continuo de relaciones de transmisión, presentan una baja eficiencia en la transmisión de la potencia. Para compatibilizar estos aspectos se desarrollaron transmisiones ramificadas, donde una parte importante de la potencia se divide en dos ramas una que transmite una parte de la potencia en forma mecánica y otra ramificación por donde el resto de la potencia se transmite en forma hidrostática. Las dos ramas se juntan a la salida de forma que la relación de transmisión final varía a causa de la transmisión hidrostática, pero la eficiencia se mantiene alta a causa de que parte de la potencia se transmite en forma mecánica.

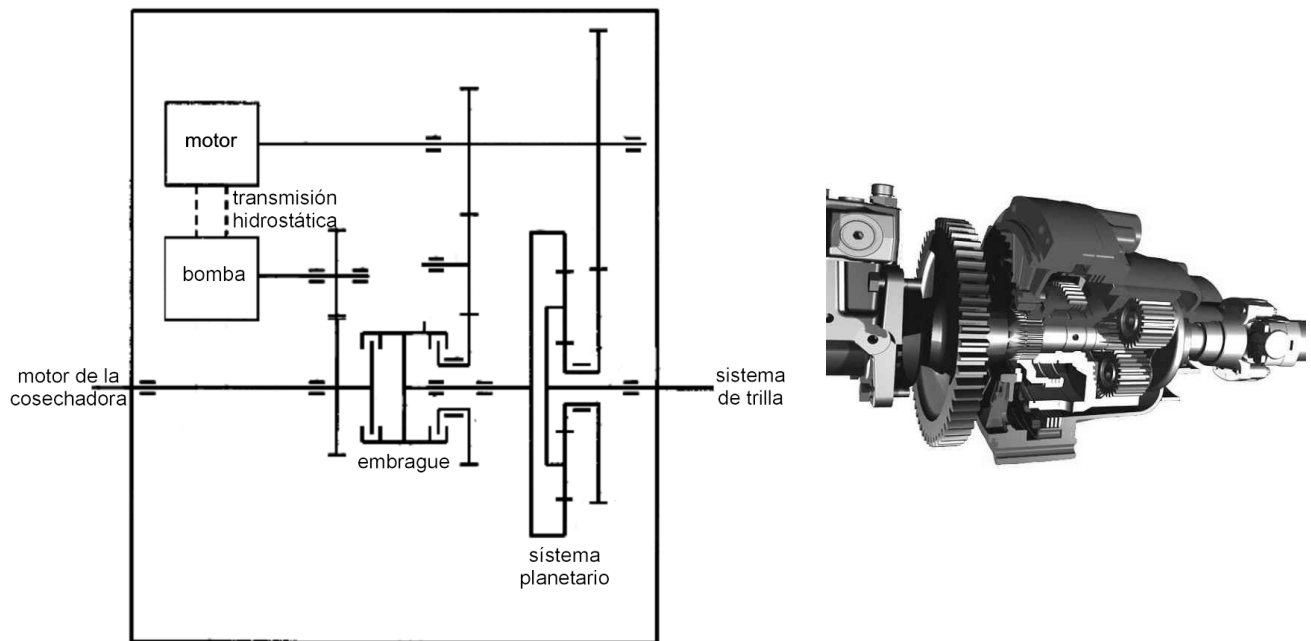


Fig. 73 A la izquierda se observa el esquema de la transmisión "Power Plus" (derecha), de las cosechadoras Case IH de mayor potencia. Se distingue la rama hidráulica en la parte superior y la mecánica debajo. Esta transmisión tiene la particularidad de poseer un embrague para desacoplar la rama mecánica cuando se comienza a mover el rotor, hasta llegar a un régimen determinado.

COMPACTACIÓN DEL SUELO

Definición y consecuencias

La compactación del suelo es un proceso por el cual los granos del suelo se reacomodan llegando a un contacto más estrecho entre sí, reduciendo el espacio poroso, incrementando de ese modo, la densidad aparente (Soil Science Society of America 1996).

La compactación, al reducir la porosidad del suelo, dificulta la infiltración del agua de lluvia y reduce la cantidad que se puede almacenar en el perfil. Además el aumento de densidad del suelo dificulta el desarrollo de las raíces, limitando el aprovechamiento de la fertilidad del suelo. La compactación también altera el intercambio gaseoso del suelo, los procesos químicos y biológicos del mismo, provocando en la mayoría de los casos, pérdidas de rendimiento.

La compactación depende de parámetros del suelo y de la maquinaria que transita sobre el mismo. Principales parámetros del suelo que condicionan la compactación:

- Contenido de humedad del suelo
- Contenido de materia orgánica del suelo: cuanto mayor es el contenido de materia orgánica menor es la susceptibilidad del suelo a la compactación. Ekwue & Stone (1995)

Principales parámetros de la maquinaria que condicionan la compactación:

- La presión en el área de contacto rueda suelo.

Cuanto menor sea la presión que se ejerce sobre el suelo, menor será la compactación superficial del mismo (ver aparte). Para reducir esta presión se recurre a diferentes alternativas para aumentar la superficie de contacto rueda suelo:

1. Ajustar la presión de inflado de los neumáticos de acuerdo al peso, sin excederse.
2. Utilizar neumáticos radiales en reemplazo de los convencionales de carcasa diagonal. Desde hace unos años además de los neumáticos radiales convencionales, existen los radiales de flexión incrementada (IF increased flexion) y de muy alta flexión (VF very high flexion). Estas pueden soportar el mismo peso que un neumático radial convencional de las mismas dimensiones, pero con un 20 % y 40 % menos de presión de inflado respectivamente, logrando una mayor flexión y superficie de apoyo. Esto se puede conseguir sobre la base de utilizar materiales que aumenten la flexibilidad del flanco a la vez que aumentan la resistencia, lo que hace posible que la deformación por aumento de la carga no afecte a la zona de rodadura que se mantiene plana
3. Colocar rodados duales.
4. Las cosechadoras de mayor potencia suelen fabricarse con orugas de goma en reemplazo de las ruedas.

- El peso de la maquinaria

El peso de la cosechadora condiciona la compactación en profundidad que es la más difícil de remediar. Siendo la tendencia a fabricar cosechadoras cada vez más potentes y pesadas, se empieza a plantear la posibilidad de realizar tráfico controlado, pisando todos los años las mismas huellas con las mismas maquinas. Esto permite limitar la compactación a un conjunto de huellas, dejando el resto del campo sin pisar. La exigencia de uniformar todo el parque de maquinarias con una misma trocha limita su difusión, siendo Australia el país que más hectáreas ha incorporado a este sistema.

- El número de pasadas.

Varias pasadas de una maquina liviana puede producir tanta compactación como una pasada de una maquina pesada. Si bien el número de pasadas de la cosechadora no se puede reducir, si se puede actuar sobre las tolvas que recogen el grano, reduciendo al mínimo imprescindible su ingreso al lote o bien descargando la cosechadora en la cabecera. En tal sentido Botta et al (2007), encontró que luego de tres años de cosechar descargando a la tolva en la cabecera, el rendimiento del cultivo era mayor que cuando se cosechaba descargando a la tolva dentro del lote. Esta última alternativa que no es del agrado de los contratistas de cosecha, es más viable en las últimas cosechadoras que tienen altas velocidades de descarga de la tolva.

Patrones de compactación

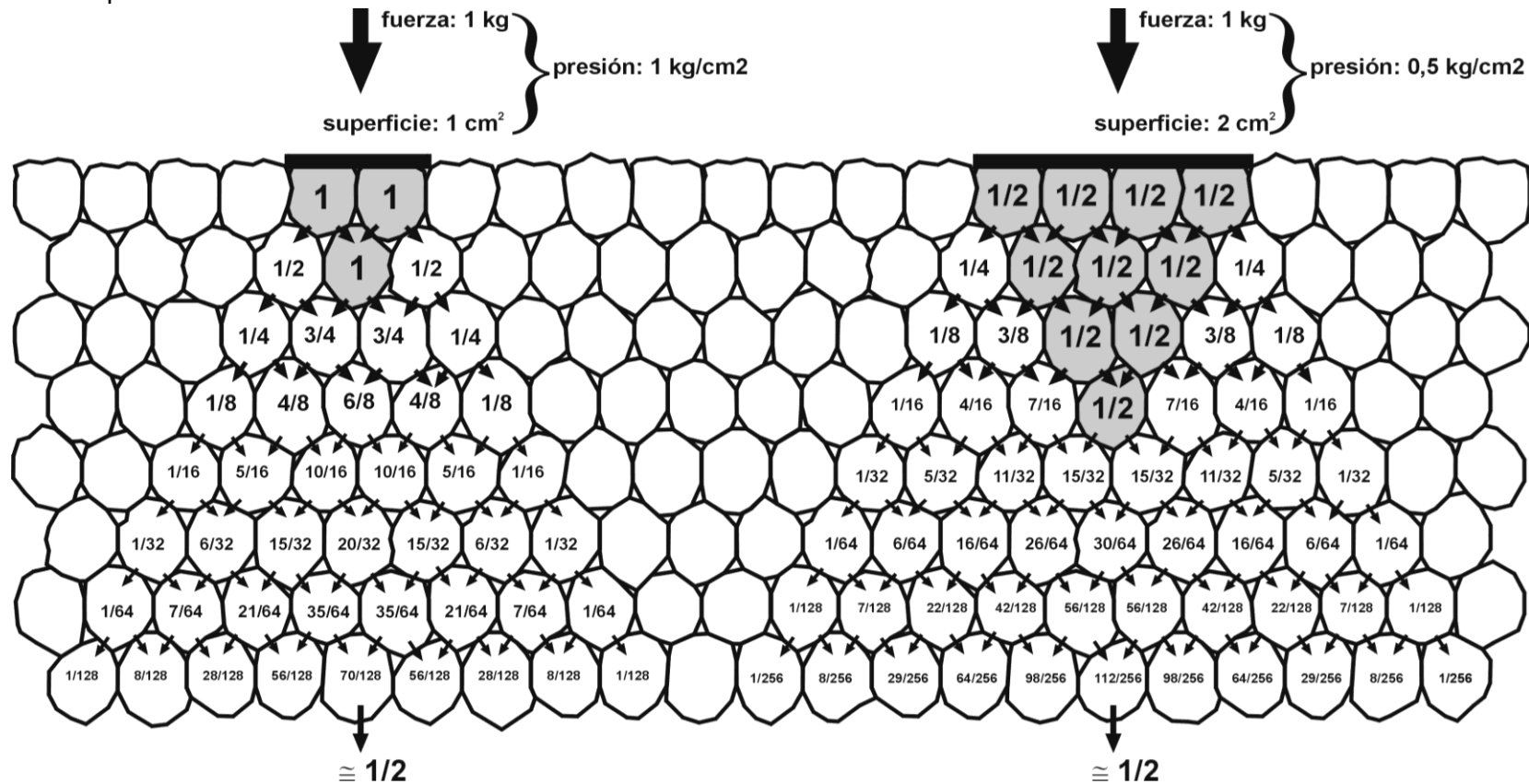


Fig. 74 En la figura se puede observar que la presión de compactación sobre la superficie del suelo, se puede reducir si se aumenta la superficie de apoyo para un mismo peso. Por lo tanto la compactación superficial depende de la presión sobre el suelo. La fuerza que se aplica en la superficie del suelo se transmite en profundidad por los contactos entre las partículas o agregados del suelo. Como estas fuerzas también se difunden lateralmente, se van reduciendo en profundidad, por lo que se espera que la compactación se reduzca con la profundidad. Como se observa en la figura, la profundidad hasta la que se produce la compactación subsuperficial, depende del peso aplicado, independientemente de cuál sea la superficie de contacto con el suelo. Esto es debido a que aunque con una mayor superficie de apoyo se reduce la presión ejercida sobre el suelo, al ser mayor la superficie, las fuerzas se transmiten completas hasta una mayor profundidad, para luego recién comenzar a disminuir. Si bien la compactación que se genera en profundidad va a ser menor que la superficial, la compactación suele ser acumulativa y en profundidad no hay tanta actividad de raíces, lombrices ni oscilaciones en el contenido de humedad que puedan revertir la compactación. También es más dificultoso realizar una descompactación mecánica en la medida que aumenta la profundidad.

PÉRDIDAS POR COSECHA

En la cosecha de un cultivo es inevitable que parte de los granos se pierdan al caer al suelo. Estas pérdidas pueden ser producidas por la cosechadora o pueden deberse a causas naturales a medida que se van secando los cultivos o a inclemencias climáticas. Las pérdidas causadas por la cosechadora pueden producirse al ser tomado el cultivo por el cabezal o bien pueden ser granos que caen por la cola de la cosechadora al expulsarse la paja y la granza de la cual no terminaron de separarse.

Existen diferentes métodos para medir las pérdidas por cosecha. Los más sencillos consisten en contar los granos caídos dentro de un área de muestreo reducida, luego del paso de la cosechadora. En este caso se están evaluando pérdidas totales y para diferenciar entre las pérdidas de cosecha y las naturales (precosecha), se deberán hacer mediciones antes y después del paso de la cosechadora. La diferencia entre ambas serán las pérdidas por cosecha.

Otros métodos tienen por objeto diferenciar dentro de las pérdidas por cosecha, que parte se producen en el cabezal y en la cola de la cosechadora. Dentro de estos últimos, algunos demandan frenar la cosechadora para poder medir y otros se pueden llevar a cabo con la cosechadora trabajando. En el primer caso, cuando la cosechadora se encuentra trabajando en un sector representativo del lote, se la debe frenar y hacerla retroceder unos 5 metros. Al retroceder la cosechadora, deja delante un área cosechada donde se pueden medir los granos que habían caído del cabezal (junto con los que habían caído en precosecha), pero donde no llegaron a caer los granos que se pierden por la cola de la cosechadora. Luego se miden las pérdidas detrás de la cosechadora y al restarles lo medido delante del cabezal se obtienen las pérdidas por cola. Generalmente con este método el área de muestreo para contar los granos caídos, es un cuadro del ancho del cabezal, marcado con estacas e hilo. Al ser necesario frenar la cosechadora para poder medir, es necesario ponerse de acuerdo entre los diferentes actores que intervienen en el proceso de cosecha, por lo que en algunas situaciones se vuelve inviable.

El INTA desarrolló un método que permite diferenciar las pérdidas por cosecha entre el cabezal y la cola, sin detener la cosechadora. Se arrojan unos aros forrados detrás del cabezal y antes de que pase la cola de la cosechadora. Las pérdidas por cola quedan arriba del paño de los aros y las pérdidas por cabezal debajo de los mismos. Como las pérdidas por cabezal quedan mezcladas con las pérdidas precosecha, estas últimas deben ser medidas antes del paso de la cosechadora para restarlas a las medidas debajo de los aros forrados (Esta metodología es descrita más detalladamente más adelante).

La desventaja que presentan los métodos que diferencian las pérdidas por cabezal y por cola es que solo se puede medir en donde está trabajando la máquina, por lo que deberían ser complementados con mediciones de pérdidas de cosecha sencillas en las zonas donde la cosechadora haya estado trabajando antes de comenzar a medir. De este modo se puede evaluar la variación de las pérdidas de cosecha en condiciones previas al momento en que se comienza a medir (por ejemplo con otra velocidad de cosecha).

La medición de las pérdidas de cosecha debe contrastarse contra valores de referencia o tolerancias de pérdidas admitidas. En general la tolerancia de pérdidas de cosecha fluctúa en 1-3% del rendimiento según la dificultad de cosecha que presente el cultivo y las características de la máquina. Las tolerancias de pérdidas también se suelen expresar en valores fijos de toneladas por hectárea, lo que puede ser más conveniente para cultivos que tuvieron un pobre desarrollo. Estos últimos suelen ser más difíciles de cosechar y una tolerancia expresada en porcentaje de un rendimiento que es bajo, va a ser un objetivo difícil de cumplir.

Cuando a las pérdidas de cosecha se las diferencia en pérdidas producidas en el cabezal y la cola de la cosechadora, se puede analizar con más detalle si hay algún sistema de la cosechadora que esté generando un incremento en las pérdidas.

Metodología de medición de pérdidas del INTA PRECOP

Para la medición de las pérdidas de grano se pueden utilizar diferentes técnicas, pero la más habitual es la propuesta por el INTA PRECOP. Primero se describe la metodología básica para medir pérdidas en soja, trigo, cebada con cuatro aros para medir los granos y luego se describe la variante del método para maíz, girasol, sorgo que además de medir pérdidas con los aros, demanda la utilización de cuadros de muestreo más grandes para medir los granos agrupados en grandes espigas, capítulos o panojas.

Medición de pérdidas solo con aros (soja, trigo, cebada):

Consiste en muestrear 1 m² de superficie del suelo con cuatro aros de 0,25 m² arrojados al azar. Una vez medida la cantidad de grano perdido en 1 m², proporcionalmente se obtiene los kilogramos por hectárea perdidos. En caso de no contar con una balanza se suelen utilizar las siguientes equivalencias:

Tabla: Comparación entre diferentes cultivos de la cantidad de granos que equivalen a 10 gramos (que recolectados en 1 m² equivalen a 100 kg/ha)

Cultivo	Granos/m ² equivalentes a 100 kg/ha	Cultivo	Granos/m ² equivalentes a 100 kg/ha
Maíz	33	Girasol	120 grandes/140 medianos/160 chicos
Soja	60	Sorgo	285
Trigo	333	Cebada	270

Si los aros se arrojan luego del paso de la cosechadora se obtiene una medida de las pérdidas totales que son las de precosecha y las provocadas por la cosechadora. Para diferenciar las pérdidas de cosecha, se arrojan los aros en cualquier parte de la parcela que no se haya cosechado y se obtienen las pérdidas precosecha, que restadas a las totales dan la medida de las pérdidas provocadas por la cosecha.



Fig. 75 Previo al paso de la cosechadora se miden pérdidas precosecha y durante el paso de la

misma se vuelve a medir para diferenciar las pérdidas de cosecha por cabezal y por cola.

Para minimizar las pérdidas de cosecha se debe identificar las causas de las mismas, empezando por diferenciar las que se producen en el cabezal de las de la cola. Para esto se debe contar con cuatro aros de $0,25 \text{ m}^2$ forrados con un paño. Se espera que pase la cosechadora y se arrojan los cuatro aros inmediatamente después del paso del cabezal, antes de que termine de pasar el resto de la maquina. Uno de los aros se arroja debajo de la cosechadora entre las ruedas y los otros tres al costado de la cosechadora, detrás del cabezal (Fig. 75). Los granos perdidos en el cabezal ya están en el suelo cuando se arrojan los aros forrados, por lo que quedan debajo del paño y los granos que se pierden por la cola de la cosechadora, caen arriba del paño de los aros. De este modo se diferencian las perdidas por cosecha en perdidas por cabezal y por cola. Debe tenerse en cuenta que a los granos que quedan debajo del paño hay que restarle los perdidos en precosecha para obtener el dato de perdidas por cabezal. De las perdidas por cola se identifica claramente las que son a causa del sistema de trilla cuando se encuentra sobre los aros fragmentos de espigas o vainas, según el cultivo. Lo que no se puede diferenciar con este método es que porcentaje de las perdidas por cola se deben al sistema de separación y al sistema de limpieza.

Repeticiones

La norma ASAE 396.2 recomienda repetir las mediciones de perdidas por cosecha al menos cinco veces y preferentemente más de siete veces.

Medición de pérdidas en Maíz

La metodología descrita anteriormente es adecuada cuando las perdidas están compuesta por granos sueltos, pero cuando lo que se pierde son espigas de maíz, éstas contienen tanto grano que la distribución de las perdidas en el suelo ya no es uniforme y el área de muestreo debe ser mayor al metro cuadrado de los 4 aros.

El área de muestreo para medir cuanto grano se pierde con las espigas de maíz caídas, debe ser un cuadro con el ancho del cabezal y un largo tal que queden 10 m^2 a muestrear en cada hilera de cultivo: 14,3 metros si las hileras están distanciadas a 0,7 m (19,2 m si la distancia entre hileras es de 0,52 m).

En el ejemplo de la figura, se juntan cinco espigas de maíz en el área muestreada, un promedio de 1 espiga por hilera, lo que es igual a 1 espiga cada 10 m^2 . A falta de una balanza para pesar cuanto grano tiene cada espiga se puede aceptar que en promedio cada una tiene 150 gr de grano. Por lo tanto para el caso de la Fig. 76 las pérdidas son de $150 \text{ gr}/10 \text{ m}^2$ lo que es igual a 150 kg/ha .

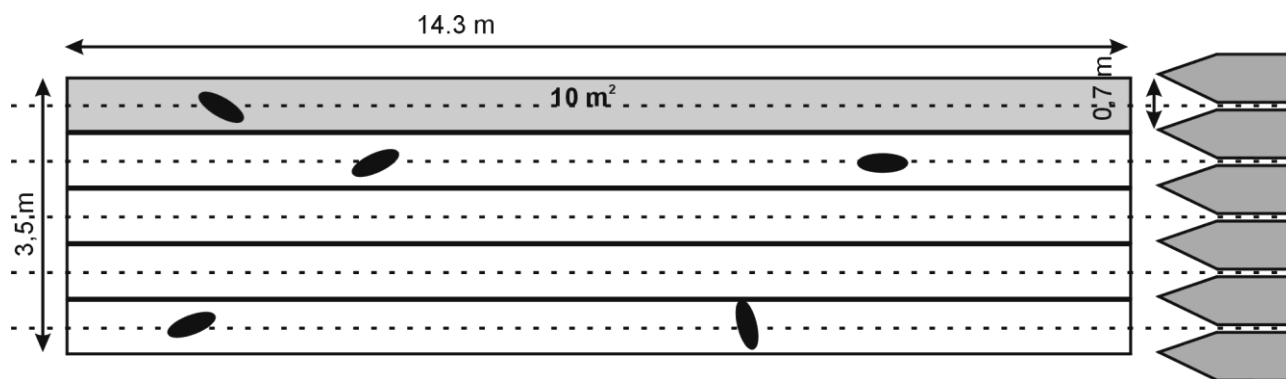


Fig. 76 Esquema del cuadro de muestreo de espigas perdidas.

Resumiendo:

Perdidas por espigas caídas = nº de espigas x peso de grano/espiga / nº de hileras del cabezal

Las espigas se pueden perder en precosecha o del cabezal, por lo que el cuadro se marca antes del paso de la cosechadora y se retiran las espigas del suelo que son las pérdidas precosecha. Luego del paso de la cosechadora si hay más espigas son pérdidas por cabezal.

A las espigas perdidas en precosecha y por cabezal, hay que sumar los granos que se pierden por cabezal y por cola (Como las espigas están envueltas no hay pérdidas precosecha de granos sueltos). Por lo tanto:

Tabla: origen de los distintos tipos de pérdidas en la cosecha de maíz, según sean granos sueltos o granos en espigas

Pérdidas totales		
Pérdidas precosecha	Perdidas por cosecha	
	Perdidas por Cabezal	Perdidas por Cola
Espigas	Espigas	
	Granos	Granos

Medición de pérdidas en Girasol y Sorgo

La metodología es esencialmente la misma que para el cultivo de maíz excepto porque también hay que arrojar los aros en precosecha, debido que estos cultivos si se desgranar previo al paso de la cosechadora.

Tolerancias

Una vez que se tiene el dato de cuanto grano se pierde por cosecha, hay que decidir si este es aceptable o hay que corregir el desempeño de la cosechadora para disminuir las pérdidas. Los valores de pérdidas que se pueden tolerar están en torno al 2% del rendimiento esperado del cultivo, pudiendo aumentar o disminuir según el estado del cultivo y de la cosechadora.

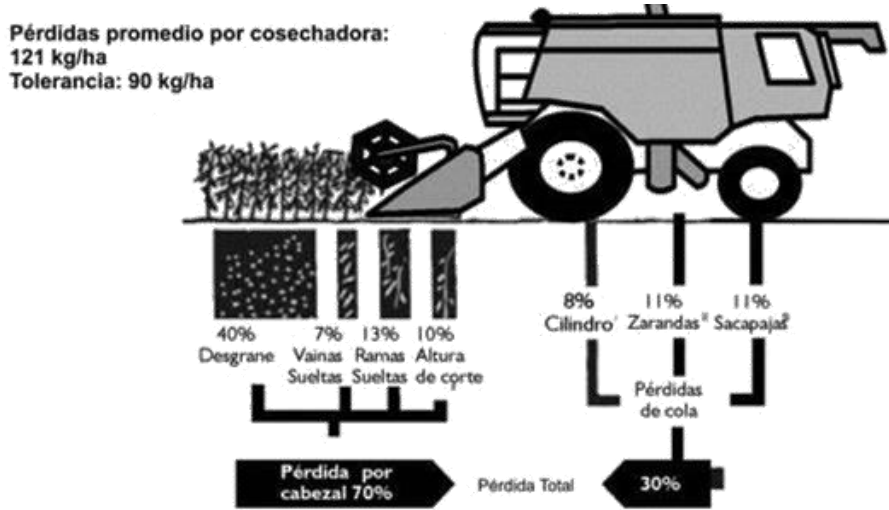
Datos de pérdidas a nivel país

El siguiente cuadro contiene información revelada por el INTA PRECOP, con datos de pérdidas de los principales cultivos. Como se ve, el mayor porcentaje de pérdidas se producen en el cabezal, excepto para trigo donde por la elevada proporción de paja que ingresa a la cosechadora, se dificulta la separación del grano.

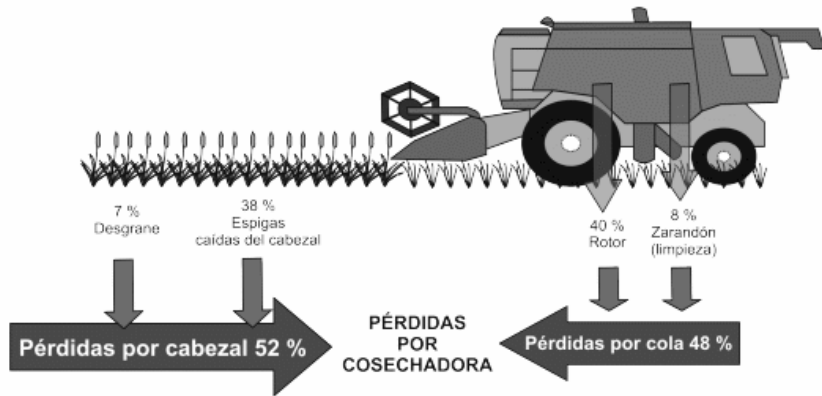
Tabla: Valores de referencia de pérdidas para distintos cultivos en Argentina.

Cultivo	Precosecha (kg/ha)	Cabezal (kg/ha)	Cola (kg/ha)	Total Cosechadora (kg/ha)	Totales (kg/ha)
Maíz	54	141 (72%)	55 (28%)	196	250
Girasol	34,5	68,5 (68%)	32 (32%)	100,5	135
Soja	25	98 (70%)	43 (30%)	141	166
Trigo	20	52 (45%)	63 (55%)	115	135

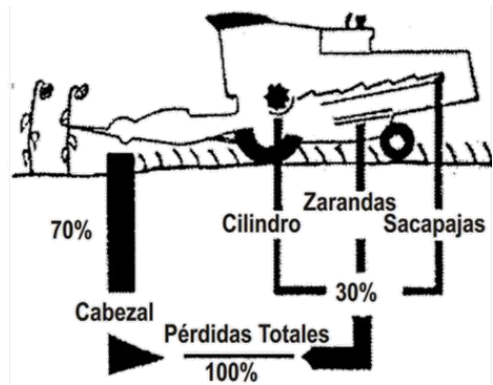
SOJA



TRIGO



GIRASOL



MAÍZ



Fig. 77 Origen más frecuente de las pérdidas en distintos cultivos (INTA PRECOP)
 52

Ejemplo de medición de pérdidas en el cultivo de soja

En un cultivo de soja de un rendimiento estimado de 2800 kg/ha, se evalúan las pérdidas de cosecha. En primer lugar se procedió a medir las pérdidas de precosecha en un sector donde el cultivo aun no se había cosechado. Se contaron los granos caídos dentro de cuatro aros de alambre que en conjunto cubrían 1 m² de área de muestreo. La medición se repitió 5 veces y se encontró un promedio 10 granos sueltos por metro cuadrado. Luego, para evaluar las pérdidas de la cosechadora se arrojan cuatro aros de las mismas dimensiones pero forrados con lona. Los aros se arrojaron luego del paso de del cabezal y antes del paso de la cola de la cosechadora.

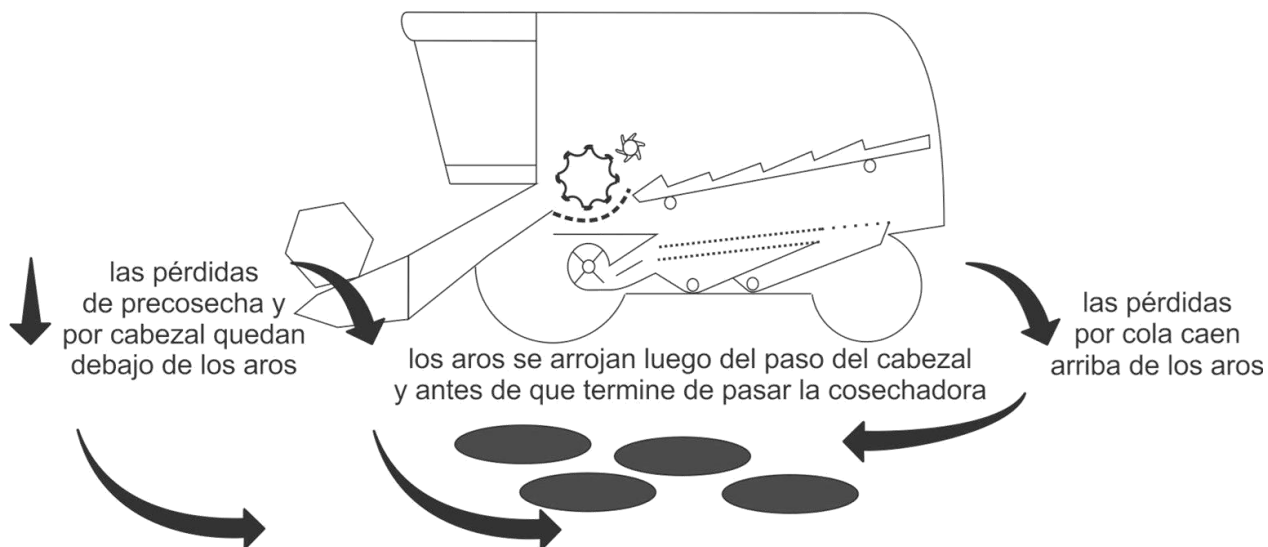


Fig. 78 Metodología de medición de pérdidas del INTA PRECOP.

La medición se repitió 5 veces y se encontró un promedio de 8 granos sueltos y 2 en fragmentos de vainas arriba de los aros. Por debajo de los aros se encontró como promedio de las mediciones 24 granos sueltos, 6 granos dentro de vainas sueltas, 4 granos en vainas por debajo de la altura de corte y 12 granos contenidos en ramas sueltas. Como tolerancia de pérdidas de cosecha se toman 60 kg/ha que es algo más del 2% del rendimiento estimado.

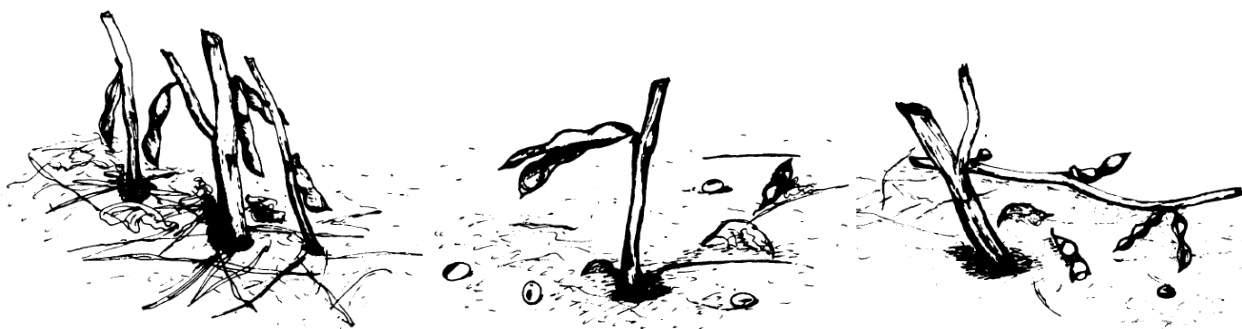


Fig. 79 Izquierda: pérdidas por altura de corte. Centro: granos sueltos o en vainas caídas. Derecha: granos en ramas caídas (Quick, 1972).

Comparación del nivel de pérdidas medido con la tolerancia

En principio se diferenció que de los 46 granos que se encontraron debajo de los aros, 10 corresponderían a pérdidas precosecha. Por lo tanto las pérdidas por cabezal serían de 36 granos/m² y por cola 10 granos /m². A falta de una balanza se tuvo en cuenta que 60 granos de soja pesan 10 gramos, por lo que 60 granos/m² equivalen a 100 kg/ha. Por lo tanto 36 granos equivalen a 60 kg/ha de pérdidas por cabezal y 10 granos equivalen a 17 kg/ha de pérdidas por cola. Las pérdidas por cosecha fueron de 77 kg/ha, lo que excede la tolerancia de 60 kg/ha.

Análisis de la distribución de pérdidas

Al medir las pérdidas por cosecha en el cultivo de soja se suele encontrar el 70% en el cabezal y el 30% por cola. Las pérdidas por cola tienden a ser más bajas que las del cabezal porque es un cultivo de fácil separación a causa de la baja cantidad de tallos y hojas que ingresan a la cosechadora. Además al ser el grano de soja bastante más pesado que la granza, no suele presentar grandes problemas en el sistema de limpieza. Por otra parte los granos de soja son más susceptibles que los de otros cultivos a desprenderse durante la recolección, provocando que haya una mayor proporción de pérdidas por cabezal. Tomando la tolerancia de pérdidas por cosecha de 60 kg/ha, si el 70% se pierde por cabezal serían 42 kg/ha y el 30% restante serían 18 kg/ha de pérdidas por cola. Comparando estos valores con los medidos a campo (60 kg/ha por cabezal y 17 kg/ha por cola) se encuentra que las pérdidas por cosecha exceden la tolerancia fundamentalmente a causa de las pérdidas por cabezal.

Tabla: Distribución de pérdidas entre el cabezal y la cola de la cosechadora.

	granos		granos	kg/ha	
Precosecha	10	Precosecha	10	17	
Debajo de los aros	46	Cabezal	36	60	78%
Arriba de los aros	10	Cola	10	17	22%
		Cosecha	46	77	100%

Análisis de las causas y posibles soluciones.

Para reducir las pérdidas por cabezal se deben analizar las causas de las mismas. Por ejemplo, una velocidad mayor a 7 km/h, una barra de corte que comienza a perder el filo, un molinete muy bajo o con un índice mayor a 1,3 con un cultivo normal, son todos aspectos operativos y de regulación que provocan que las plantas se sacudan demasiado durante la recolección favoreciendo el desprendimiento de los granos. Por otra parte un elevado índice de molinete puede provocar que algunas de las plantas recolectadas sean arrojadas delante de la cosechadora. La altura de corte de la barra puede dejar vainas bajas sin cosechar. Para el ejemplo analizado, en el material medido debajo de los aros se encontraba una importante cantidad de granos en ramas sueltas por lo que se debería controlar el índice de molinete y de ser necesario reducirlo y volver a medir las pérdidas. Siempre que se identifiquen las posibles causas del nivel de pérdidas medido, se deben realizar las correcciones de a una y volver a medir.

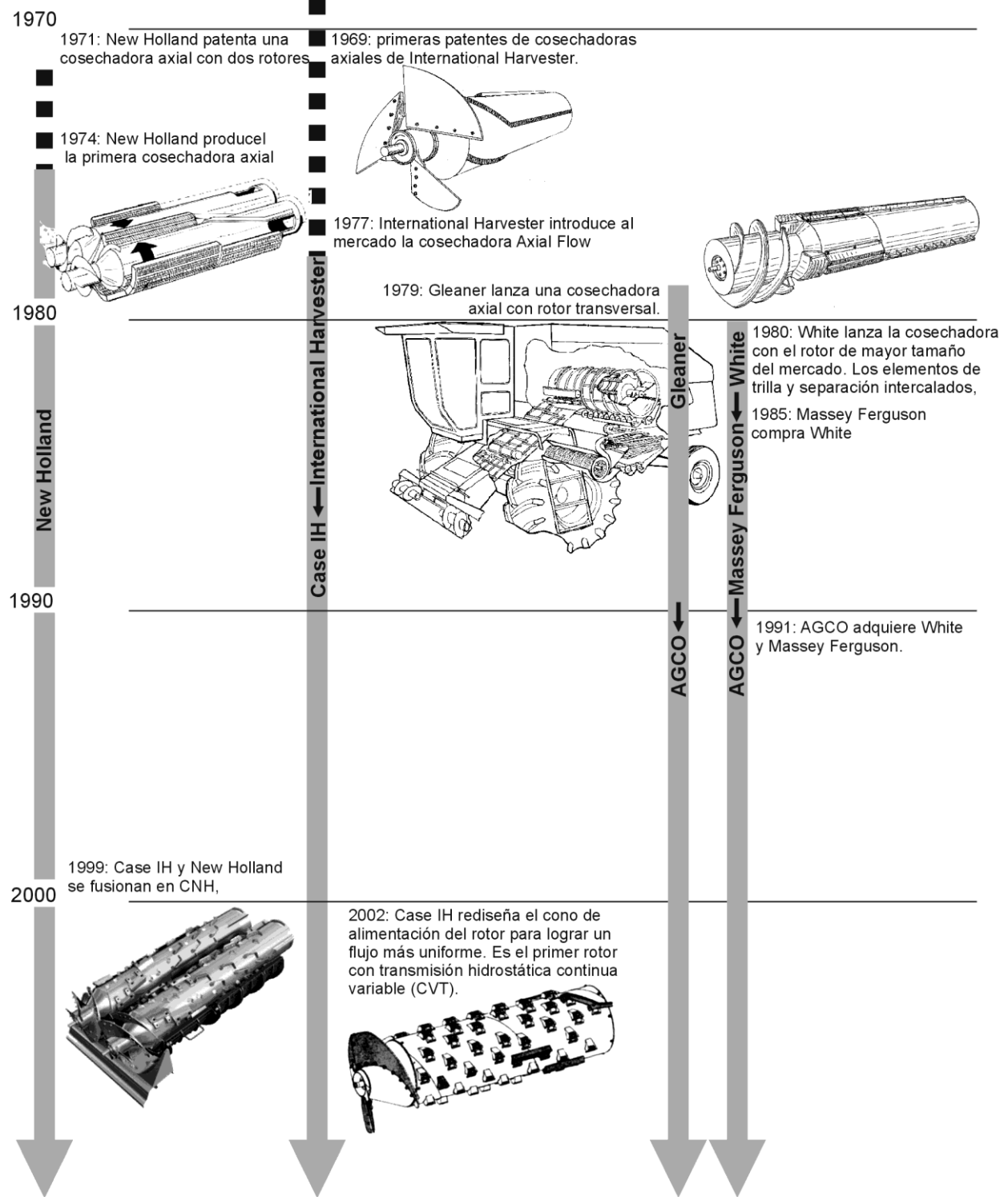
Una alternativa es organizar los datos de pérdidas como en la siguiente tabla y comparar con la distribución de pérdidas más frecuente observada en la Fig. 77 .

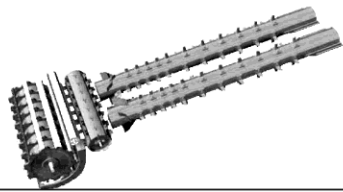
Tabla: Distribución de pérdidas dentro del cabezal y la cola de la cosechadora.

Perdida	granos	kg/ha	%
Cabezal	36	60	78%
suelos	14	23	30%
vainas	6	10	13%
por altura	4	7	9%
ramas sueltas	12	20	26%
Cola	10	17	22%
suelos	8	13	17%
en vainas	2	3	4%
Cosecha	46	77	100%

ANEXO 1: EVOLUCIÓN DE LAS COSECHADORAS AXIALES AXIAL.

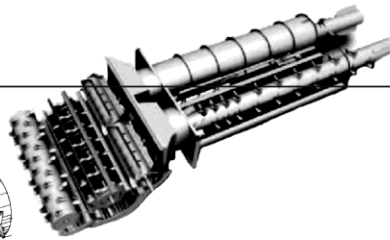
Desde 1910 hasta los sesenta, se patentan una decena de cosechadoras axiales. Aunque presentaban una serie de ventajas evidentes, no tuvieron éxito comercial debido principalmente a la mayor demanda de potencia.





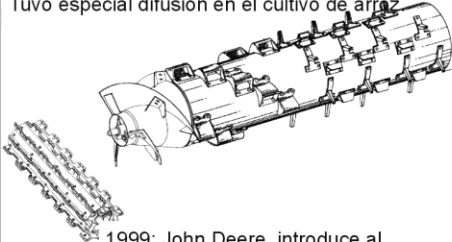
1991: John Deere lanza la cosechadora CTS, con un sistema de trilla convencional y dos rotadores axiales para realizar la separación. Tuvo especial difusión en el cultivo de arroz.

Deere CTS



1995: Claas introduce la cosechadora Lexion, con un sistema "Híbrido": trilla tangencial y separación axial con dos rotadores. El sistema de trilla incorpora un cilindro acelerador que reduce el daño al grano y aumenta la capacidad de trilla.

Claas Lexion



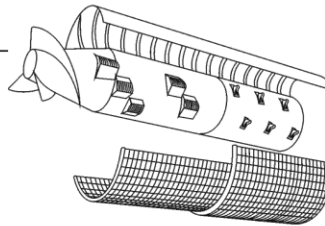
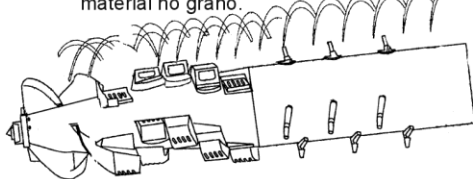
1999: John Deere introduce al mercado la cosechadora STS. El cono de alimentación era asistido por cilindro acelerador. Elementos de trilla y separación en dos sectores diferenciados.

Deere STS

2005: John Deere introduce el Rotor Bala en las cosechadoras STS: la porción cónica del rotor se extiende hasta la mitad de la sección de trilla para facilitar el ingreso del cultivo.

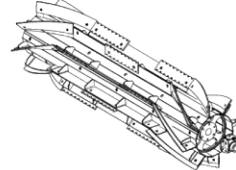


2011: John Deere introduce el rotor de flujo variable con ajuste eléctrico del ángulo de las guías superiores para variar las vueltas del cultivo en el rotor. La porción cónica del rotor se extiende hasta el final de la sección de trilla facilitando el flujo de cultivos con mucho material no grano.



2007: Vassalli Fabril introduce la cosechadora AX 7500 con innovaciones en el diseño del cilindro acelerador o encauzador. 2008: El grupo Same-Deutz-Fahr llega a un acuerdo para producir la cosechadora axial AX 7500 en Europa como Deutz7535 RTS

Vassalli



2007: Agrinar introduce la cosechadora Materfer 3000
2007: Metalfor introduce la cosechadora Axial Mix 1510
2011: Metalfor introduce la cosechadora Axial Max 1475

Metalfor

Materfer

ANEXO 2: CLASIFICACIÓN DE COSECHADORAS

Si bien ha habido diferentes clasificaciones de cosechadoras basadas en diferentes parámetros de las mismas, desde el año 2000 se ha generalizado una clasificación basada solo en la potencia de las cosechadoras, elaborada por la "Association of Equipment Manufacturers" (AEM), que reúne a diferentes fabricantes de maquinaria agrícola. La potencia en la clasificación se expresa en unidades de medida del sistema internacional (kilowatts), en un intento de facilitar su difusión global. Como la potencia de las

		CLASE 3	CLASE 4 160 kW 180 - 214 HP	CLASE 5 160 - 200 kW 215 - 267 HP
AGCO	Challenger			
	Gleaner			
	Massey Ferguson	MF 5650	MF 32 200 MF 34	MF 6690 Híbrida 265
	Optima		440F 205	
Agrinar			2121 M 180	2140 HEE 12S 250
Bernardín				M 2120 230 M 2140 230
Claas			Tucano 320 201 Avero 240 195	Tucano 430 255 Tucano 330 255
CNH	Case IH Axial Flow			2566 253 4130
	New Holland		TC5070 180	CR5080 265 TC5090 240@
John Deere			1175 178 1470 193	1570 228 9570 STS 265 9470 STS 230
Metalfor				Araus 1360
Vassalli Vassalli axial Don Roque			RV 125 185@	1300 E 234 Axial mix 550 250 RV 150 234 RV 150 electro 250@ RV 125 electro 234 RV 125 Arroceras 234

El cuadro es del año 2012 y se le incluyeron en negrita los modelos disponibles en 2019.

cosechadoras está en continuo aumento, la clasificación se va expandiendo: en 2003 se sumó la clase 8 para cosechadoras de más de 375 HP. En la actualidad hay fabricantes que clasifican algunas de sus cosechadoras como clase 9 o incluso como clase 10, aunque estas categorías no han sido oficializadas formalmente.

CLASE 6 200 - 240 kW 268 - 322 HP	CLASE 7 240 - 280 kW 323 - 374 HP	CLASE 8 280 - 300 kW 375 - 410 HP	CLASE 9 y 10
660 285	670 350 520C 350/380	540C 410/450	560C 470/510
R 66 300@			A78 425/459
MF 9690 321	MF 9790 350 MF 9695 350		MF 9895 425 MF 9795 459 MF 9895 470
550F 271			
		Materfer 3000 290 Materfer 3000 330	
M 2160 310			
Lexion 650 309 Lexion 640 275 Lexion 630 309 Lexion 620 275 Tucano 470 295 Tucano 450 295 Tucano 440 275 Tucano 340 275 Tucano 460	Lexion 660 350 Tucano 480 350 Tucano 560 326 Tucano 570 326	Lexion 750 425 Lexion 740 386 Lexion 670 386	Lexion 760 469@ Lexion 770 523 Lexion 780
2688 284 5130 272	7120 388 7088 345 2799 330 6130 326	8120 425 7130 378 7230	8230 455 9230
CR6080 300 CS 660 280	CR 9060 394		CR 9080 455 CR 7.90 408/449 CR 8.80 449/490 CR 8.90 449/490 CR 9.80 475/517 CR 9.90 530/571 CR 10.90 598/653
9670 STS 310 S550 271 S660 320	9770 STS 360 S670 373	9870 STS 440	S680 473 S690 543
1550 E 280 @ AX 7500 Lider 284 @	AX 7500 350 @ RV 170 350		

Los modelos disponibles en 2012 que se siguen fabricando en 2019 van seguidos de una letra @.

ANEXO 3: ANALISIS DE PARÁMETROS DE COSECHADORAS DISPONIBLES EN ARGENTINA.

RELACIÓN PRECIO/POTENCIA

En la figura se observa que mientras las empresas presentan cosechadoras axiales en un rango de potencia de 230 a 530 HP, en las maquinas convencionales no se supera los 300 HP. Por otra parte si bien las cosechadoras convencionales son de menor potencia, su costo se encuentra en el rango de 600 a 1400 u\$/HP, lo que es inferior al rango de 800 a 1800 U\$/HP que presentan las cosechadoras axiales.

Cuando se observa para una misma potencia una serie continua de puntos de diferente precio, debe entenderse que es el mismo modelo pero con distinto equipamiento.

Se puede tomar como valor de referencia para estimar el costo de una cosechadora, u\$s 1.000/HP.

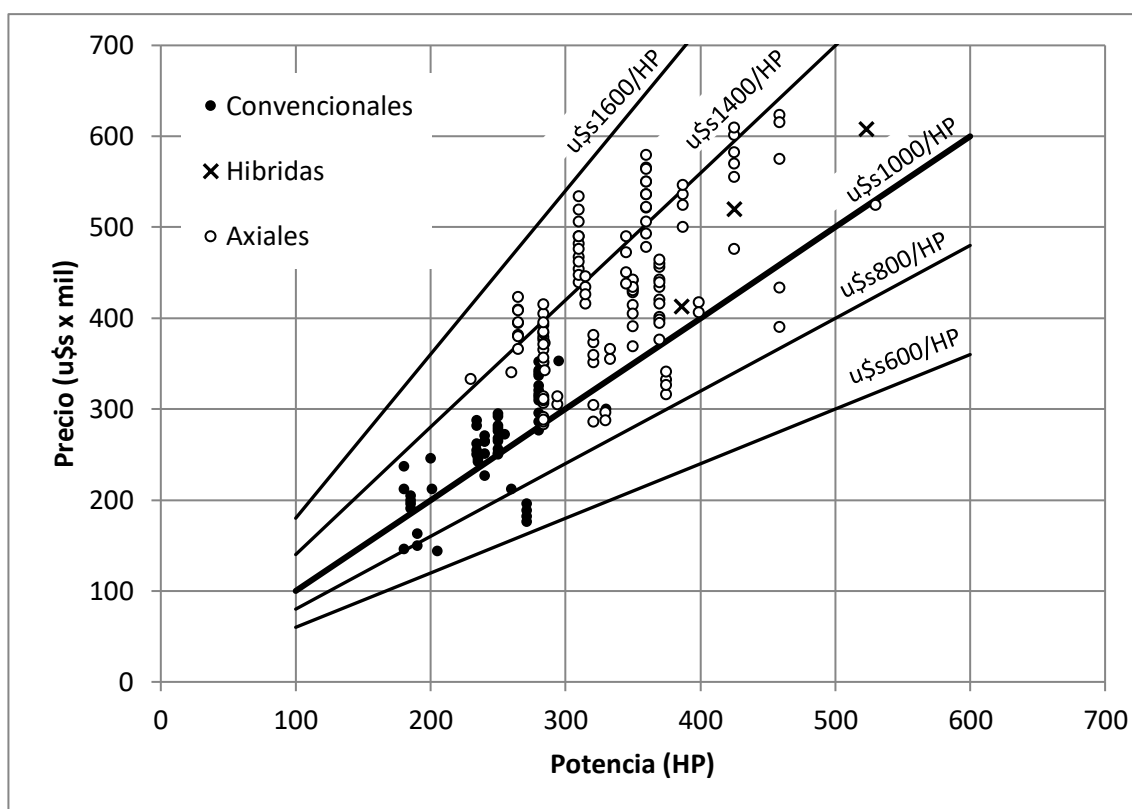


Fig. 80 Precio de las cosechadoras comercializadas en Argentina (2013), en función de la potencia de las mismas, distinguiendo entre cosechadoras axiales, híbridas y convencionales. El precio se expresa en miles de dólares. Se trazan líneas de relación precio/potencia.

Cabezales

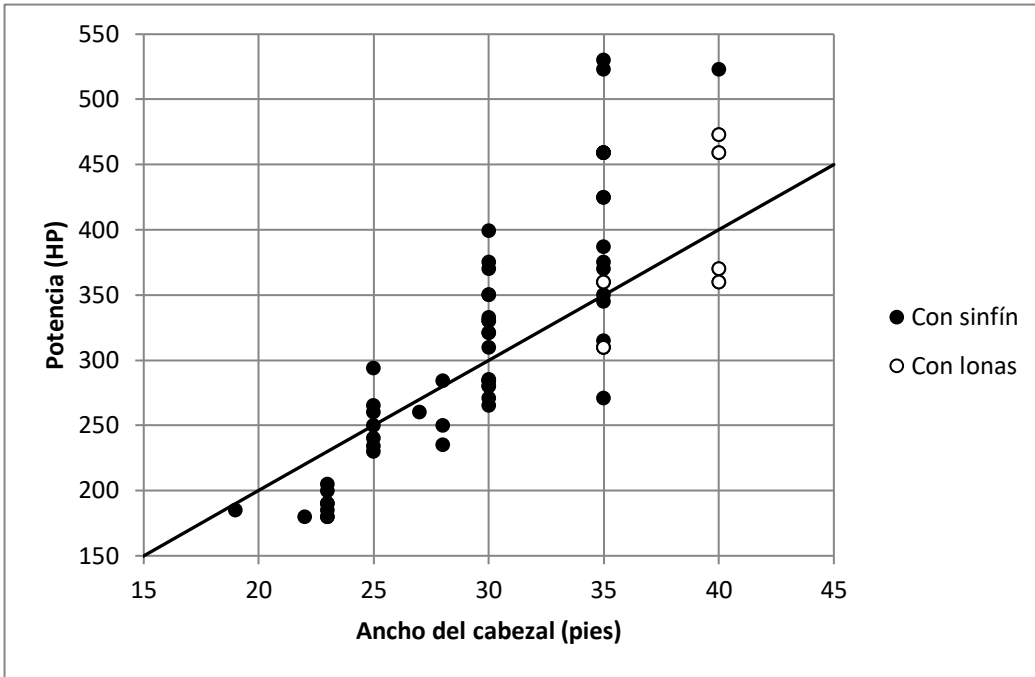


Fig. 81 Relación entre el ancho de cabezales para cosecha de trigo/soja y la potencia de las cosechadoras comercializadas en Argentina (2013), distinguiendo entre cabezales de lonas y de sinfín. Se traza línea de relación precio/potencia. La línea se corresponde con los puntos donde la potencia se corresponde con el ancho del cabezal multiplicado por diez.

Neumáticos

Como se observa en la figura, las medidas del ancho de los neumáticos utilizados en cosechadoras en Argentina, son diez. Con la excepción de las medidas de 23.1 y 28 pulgadas, el resto se puede agrupar en cinco grupos a intervalos de aproximadamente 5 pulgadas: 1) 20.31 y 20.8, 2) 24.22 y 24.5, 3) 30.5 y 31.25, 4) 35.16 y 5) 41.02. Además se observa que en la gran mayoría de las cosechadoras equipadas con duales, el ancho de los neumáticos es de 20.8 pulgadas y en el caso de usar rodados simples, en la mayoría de los casos el ancho ronda las 30 pulgadas (30.5 y 31.25).

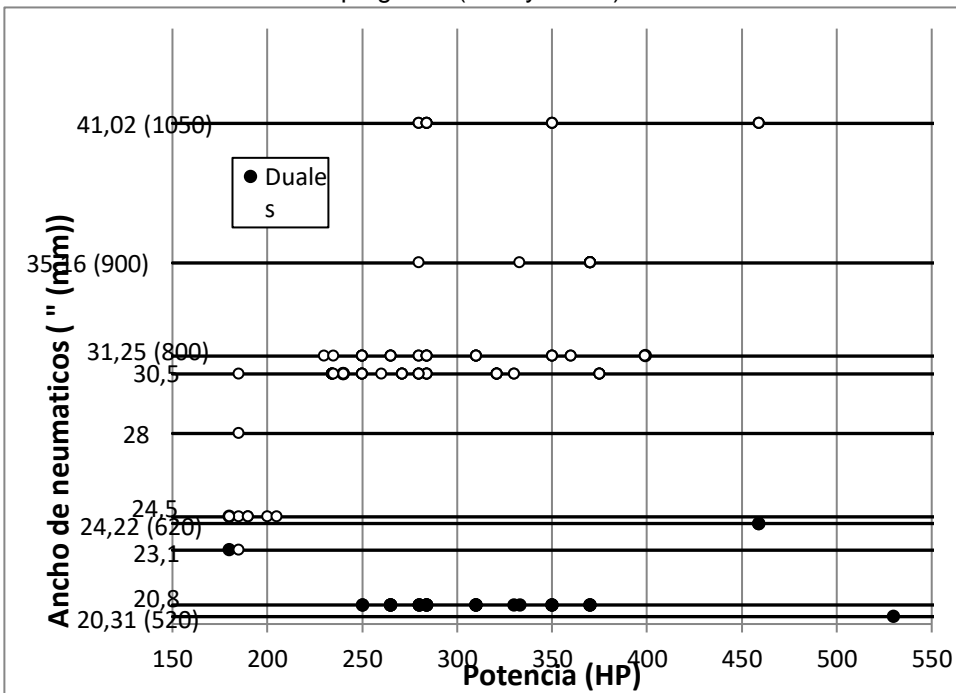


Fig. 82 Ancho de los neumáticos utilizados en las cosechadoras comercializadas en Argentina (2013), en función de la potencia de las mismas, distinguiendo los casos en los que se utilizan duales.

REFERENCIAS

- AGCO, 2009. Take Control of Your Harvest. AGCO, Duluth, GA, USA
- Augsburger, H. K. 1991. Aspectos técnicos a considerar en la cosecha de la colza. INIA Boletín de Divulgación.
- Bainer Kepner Barger, 1955. Principles of farm machinery. John Willey & Sons.
- Bollig, D.E., 2008. Corn head with tension control for deck plates. Patent application US 20080092507.
- Bottinger & Kutzbach (1987),
- Bragachini, M & C. Casini, 2005. Soja, eficiencia de cosecha y postcosecha. Manual técnico nº 3. INTA PRECOP. Manfredi, Cordoba, Argentina.
- Bragachini, M. & J. Peiretti, 2008. Cosecha de Maiz, actualización técnica Nº 36. INTA PRECOP.
- Carmody, P. 2009.. Windrowing and harvesting. En Potter, T. D. (Ed.). : Canola: Best practice management guide for south-eastern Australia. Grains Research and Development Corporation.
- Claas 2018, Convio Flex. Harsewinkel. Deutschland.
- CNH, 2018. Axial Flow Combine Headers. USA.
- Dahany, A., 1994.
- Deere, 2018. HydraFlex™ Cutting Platform. <https://www.deere.com/en/harvesting/auger-platforms/625-flex-cutting-platform/>
- Doug Biehl, 1994. Combine Components: Functions and Adjustments
- Ekwue E. & R.J. Stone 1995. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. Trans ASAE; 38(2):357–65.
- Ferrari, H., M.C. Ferrari; F. Sanchez; G. Urretz Zavalía; M. Bragachini, 2016. Cosecha de Maiz. INTA.
- Gach S.W. & C.W. Pintara, 2003. Effect of auger pitch in the auger finger conveyor on the work of harvesting and threshing units in the granin combine harvester. Annals of Warsaw Agricultural University, Agriculture (Agricultural Engineering). Nº44.
- Gach S.W. & C.W. Pintara, 2003. Effect of reel slat number on uniformity of cereal mass feeding to the threshing unit and on threshing quality. Annals of Warsaw Agricultural University, Agriculture (Agricultural Engineering). Nº44.
- Gebrehiwot, M.G., J. De Baerdemaeker, M. Baelmans, 2010. Effect of a cross-flow opening on the performance of a centrifugal fan in a combine harvester: Computational and experimental study. Biosystems Engineering, 105: 247–256.
- Gebrehiwot, M.G., J. De Baerdemaeker, M. Baelmans, 2010. Numerical and experimental study of a cross-flow fan for combine cleaning shoes. Biosystems Engineering, 106: 448-457.
- Giordano, J., Peiretti, J., Sanchez, F. y Bragachini M. 2012. Cosecha eficiente de Colza. Factores a tener en cuenta para cosechar Colza con menos pérdidas. INTA PRECOP - EEA Manfredi.
- Giordano, J.M., E.D. Bianchi, J. Peiretti, 2007. Desgaste de Cuchillas durante la Cosecha de Soja. En: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/cosecha/DesgasteCuchillasCosechaSoja.asp>.
- Gobbi, F. T.; Zandonadi, R. S.; Pinto, F. de A. Desempenho de colhedoras de grãos utilizando plataforma de corte com condutor helicoidal e esteira transportadora. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43, 2014, Campo Grande. Anais... Campo Grande: SBEA, 2014.
- Hanna and Quick 2007. Grain Harvesting Machinery Design,
- Hanna M & Van Fossen L, 2008. Profitable corn harvesting, Iowa State University, Extension Report PM-574, Ames, IA, 4 pp.
- Hanna, M., 2008. Profitable corn harvesting. Iowa State University.
- Hollatz, B. & G.R. Quick, 2003. Combine Tailings Returns, Part 1: The effect of combine performance and settings on tailings. Proceedings of the International Conference on Crop Harvesting and Processing, Louisville, USA.
- Hunt, D., & Wilson, D. 2015. Farm power and machinery management. Waveland Press.
- Huynh V.M., T. Powell & J. N. Sidall, 1982. Threshing and Separating Process – A Mathematical Model. Trans. ASAE
- Iriarte, L. & O. Valetti. 2013. Colza: determinación del momento de cosecha, métodos. INTA-MAAPA.
- Kutzbach, H. D., & G. R. Quick, 1999. Harvesters and Threshers Grain. CIGR Handbook of Agricultural Engineering, 311.
- Kutzbach, H.D., 2001. Combine harvester cleaning systems. Landtechnik, 56(6): 392-393.

Kutzbach, H.D., G.R. Quick, 1999. Harvesters and threshers. En CGIR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. III. Plant Production Engineering. ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.

Lambertini, R. J. 2017. *U.S. Patent No. 9,603,304*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

MacDon, 2012. Operator Manual.

MacDon, 2017. Cutting Parts Guide. En: http://www.macdon.com/images/brochure_uploads/MacDon-PerformanceParts-Brochure-Cutting_Parts_Guide-FIN-Low.pdf

MacDon. 2004. AE50 Awards. Resource Magazine, 11(5), 8.

Márquez, L., 2011. Los neumáticos evolucionan. Agrotecnica, julio 2011.

Menezes, P. C. D., Silva, R. P. D., Carneiro, F. M., Girio, L. A. D. S., Oliveira, M. F. D., & Voltarelli, M. A. (2018). Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations?. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(10), 732-738.

Miu, P. 2015. Combine Harvesters: Theory, Modeling, and Design. CRC Press.

NewHall, M. 1982. Upside Down Cutterbar. Farm Show Magazine. Volume 6, Issue 4, Page 7. www.farmshow.com/a_article_print.php?aid=7154

Pozzolo, O. R., & Ferrari, H. J. 2007. Arroz: eficiencia de cosecha y postcosecha. INTA.

Quick, G. R. 2003. Rice harvesting. Rice: Origin, History, Technology, and Production (CW Smith and RH Dilday, Eds.). John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 491-543.

Quick, G. R., & Buchele, W. F., 1974. Reducing combine gathering losses in soybeans. *Transactions of the ASAE*, 17(6), 1123.

Schmidt, J. & R.A. Matousek, 2006. Tailings conveyor system. United States Patent 7025673 B2.

Schumacher, G., & Schumacher, F. W. 2014. *U.S. Patent No. 8,806,845*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Schwarz, M. 2018. Grundlagenuntersuchungen am Mähdrescher-Vorbereitungsboden mit pneumatischer Unterstützung.

Shoup, K. E., 2017. U.S. Patent Application No. 14/842,929.

Soil Science Society of America, 1996. Glossary of Soil Science Terms. Madison, WI, USA.

Srivastava, A.K., C.E. Goering, R.P. Rohrbach & D.E. Buckmaster, 2006. Grain Harvesting, Chapter 12 in *Engineering Principles of Agricultural Machines*, 2nd ed., 403-436. St. Joseph, Michigan: ASABE. Copyright American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Surmann, K., Hemmesmann, A., & Albinger, B., 2015. *U.S. Patent No. 8,935,908*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Vázquez, J. M. & J. Peiretti. 2009. Revisión teórica sobre cabezales Strippers para cosechadoras. www.cosechaypostcosecha.org.

Woodruff, K. A. 1971. Evaluation of header height control mechanisms. Unpublished M.S. thesis. Library, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa.

Wrubleski, P.D. & L.G. Smith, 1979. Separation Characteristics of Conventional and Non-Conventional Grain Combines. *Transactions of the ASAE*

Yanmar 2016. Combine Harvester Manual.