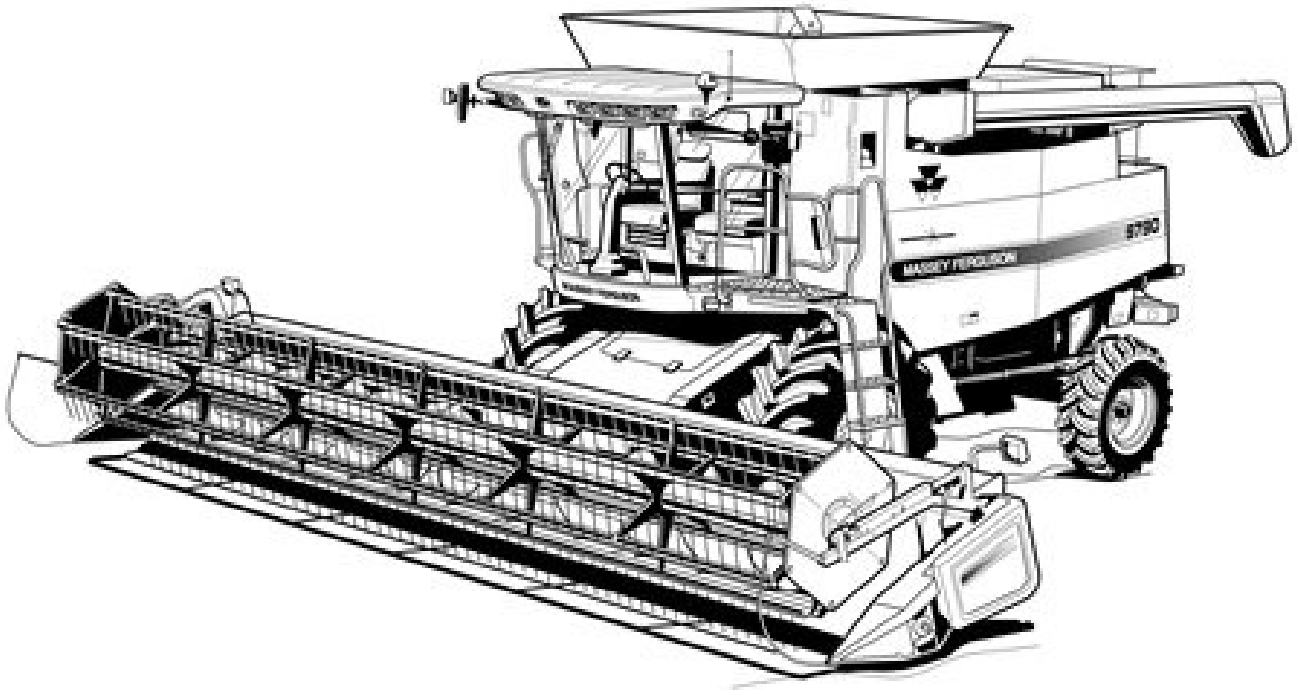


# COSECHA DE GRANOS



JUAN MANUEL VAZQUEZ

2023

INDICE	
ANTES QUE NADA LA SEGURIDAD EN EL USO DE LA COSECHADORA.....	6
CABEZAL CONVENCIONAL CON MOLINETE.....	8
MOLINETE.....	9
Descripción y funcionamiento.....	9
Dientes.....	10
Diámetro del molinete.....	10
Numero de barras.....	11
Accesorios para recoger cultivos ralos.....	11
Regulación.....	11
BARRA DE CORTE.....	13
Descripción.....	13
Cinemática del corte.....	14
Altura de corte.....	17
SINFÍN.....	18
Regulaciones.....	18
BARRA DECORTE FLEXIBLE FLOTANTE.....	19
Barra de corte flotante y control automático de altura del cabezal.....	19
Barra de corte flexible.....	19
Autonivelante automático.....	19
CABEZALES DE LONAS O DRAPER.....	21
Sistema de copiado del terreno.....	21
Ruedas estabilizadoras.....	22
Entrega del cultivo al acarreador.....	22
CABEZAL MAICERO.....	24
Descripción y funcionamiento.....	24
Triturador de tallo.....	25
Control de posición del cabezal.....	26
Cabezales para cosechar al sesgo o con distintas distancias entre surcos.....	27
Regulaciones.....	28
Velocidad de avance.....	28
Cadenas recolectoras.....	28
Rolos espigadores.....	29

Placas espigadoras.....	29
Disposición de los dedos de las cadenas recolectoras.....	30
Inclinación del cabezal.....	30
Cosecha de cultivos volcados.....	30
CABEZAL GIRASOLERO.....	31
CABEZAL STRIPPER (desgranador).....	33
Peines desgranadores.....	33
Regulación del régimen del rotor o molinete.....	34
Regulación de la altura del capot.....	34
Desempeño de la cosechadora con cabezal stripper.....	34
SISTEMA DE ALIMENTACION (acarreador o embocador).....	35
Velocidad del acarreador.....	35
Fácilmente ajustable.....	36
SISTEMA DE TRILLA.....	37
Descripción.....	37
Funcionamiento.....	38
Parámetros de evaluación del sistema.....	39
Factores condicionantes.....	39
SISTEMA DE SEPARACIÓN.....	41
Separación con sacapajas.....	41
Factores que inciden en la capacidad de separación del sacapajas.....	42
La velocidad de flujo del material.....	42
Régimen de rotación del sacapajas.....	43
Radio de giro del cigüeñal.....	43
Ángulos de grillas y saltos.....	43
El largo del sacapajas y la cantidad de saltos.....	44
Sistema de grilla.....	44
Elementos que aumentan la capacidad de separación del sacapajas.....	45
Separación centrifuga.....	45
SISTEMA DE LIMPIEZA.....	47
Ventiladores.....	50
SISTEMA DE RETRILLA.....	51
Regulación.....	51

SISTEMA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE COSECHA.....	52
Picador de paja o triturador desparramador.....	52
Distribución de los residuos de cosecha.....	53
CONTROL DE SEMILLAS DE MALEZAS (DESTRUCTORES DE SEMILLAS).....	54
Eficiencia.....	55
Condicionantes de su implementación.....	56
Otras tecnologías para control de semillas de malezas.....	56
SENSORES DE PERDIDAS DE GRANOS.....	58
Ajustes.....	59
CONTROL AUTOMATICO DEL INDICE DE ALIMENTACIÓN.....	60
SENSORES DE PRESIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA.....	62
SENSORES DE ACUSTICOS.....	63
CÁMARAS DIGITALES PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE GRANO EN TIEMPO REAL.....	64
AUTOMATIZACIÓN DE LAS REGULACIONES DE LA COSECHADORA.....	65
TRANSMISION.....	67
Transmisión con correa y polea variadora.....	67
Transmisión hidrostática.....	68
Transmisiones ramificadas.....	68
COMPACTACIÓN DEL SUELO.....	69
PÉRDIDAS POR COSECHA.....	71
Metodología de medición de pérdidas del INTA PRECOP.....	72
Medición de pérdidas solo con aros (soja, trigo, cebada):.....	72
Repeticiones.....	73
Medición de pérdidas en Maíz.....	73
Medición de pérdidas en Girasol y Sorgo.....	74
Tolerancias.....	74
Datos de pérdidas a nivel país.....	74
Ejemplo de medición de pérdidas en el cultivo de soja.....	75
Comparación del nivel de pérdidas medido con la tolerancia.....	76
Análisis de la distribución de pérdidas.....	76
Análisis de las causas y posibles soluciones.....	76
PÉRDIDAS DE CALIDAD DE GRANO POR DAÑO MECANICO EN LA COSECHA.....	77
Determinaciones a realizar a las muestras de grano.....	77

CARROS TOLVA O TOLVAS AUTODESCARGABLES.....	79
PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN CONSECHADORAS.....	81
ANEXO 2: CLASIFICACIÓN DE COSECHADORAS.....	85
ANEXO 3: RELACIONES ENTRE DISTINTOS PARÁMETROS DE COSECHADORAS COMERCIALIZADAS EN ARGENTINA.....	87
Cabezales.....	88
Neumáticos.....	88
REFERENCIAS.....	89

## ANTES QUE NADA LA SEGURIDAD EN EL USO DE LA COSECHADORA

Dentro de todos los aspectos a considerar en los procesos mecanizados de cosecha, el más importante es el resguardo de la integridad del personal que interviene en los mismos, por lo que es el primer tema a abordar. Durante la operación de cosechadoras de granos existen riesgos de accidentes de diferente gravedad como por ejemplo, los causados por ser embestidos por la misma, ser atrapado por la maquina 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 maquinas.

- 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 maquinas 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.

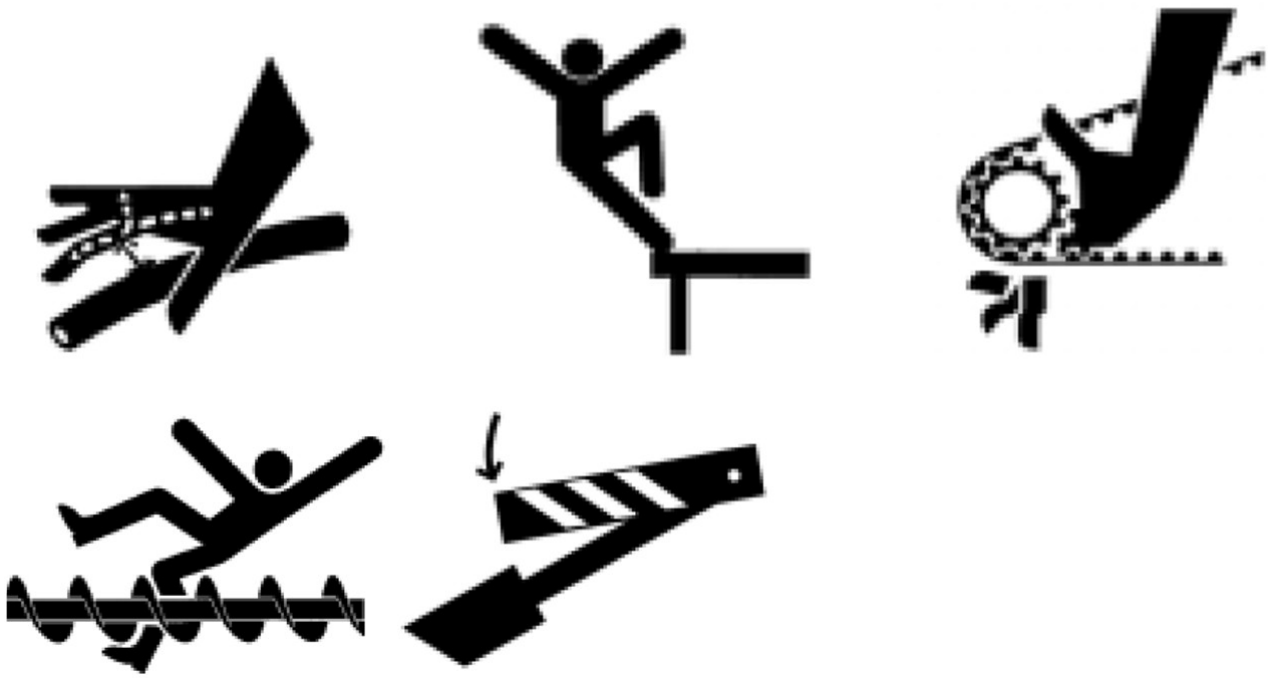


Fig. 2 Adhesivos de seguridad.

## 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.

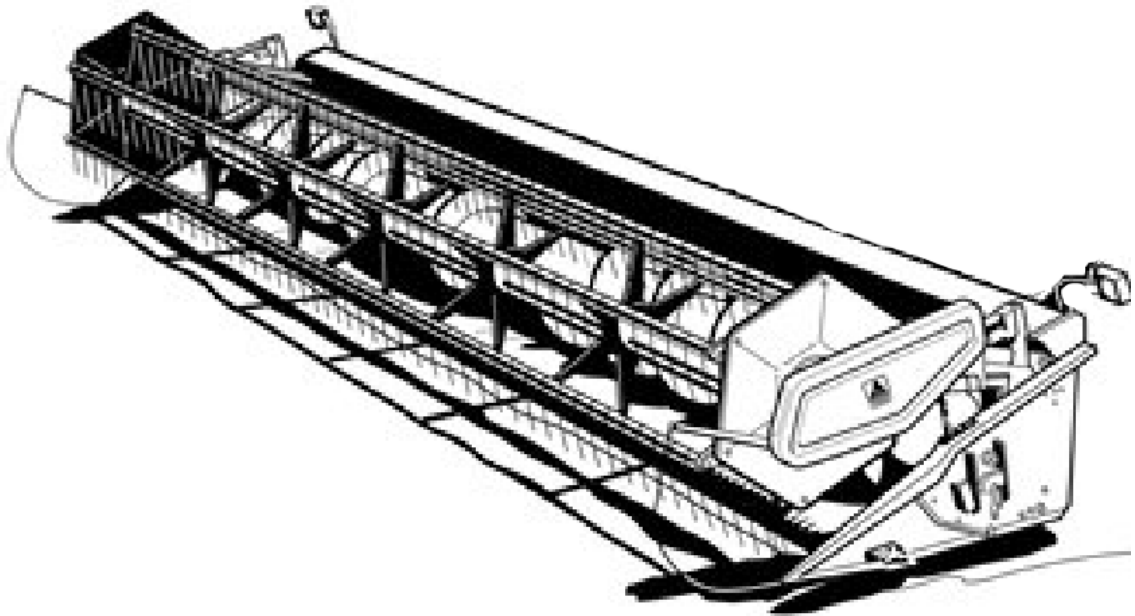


Fig. 3 cabezal convencional con molinete.

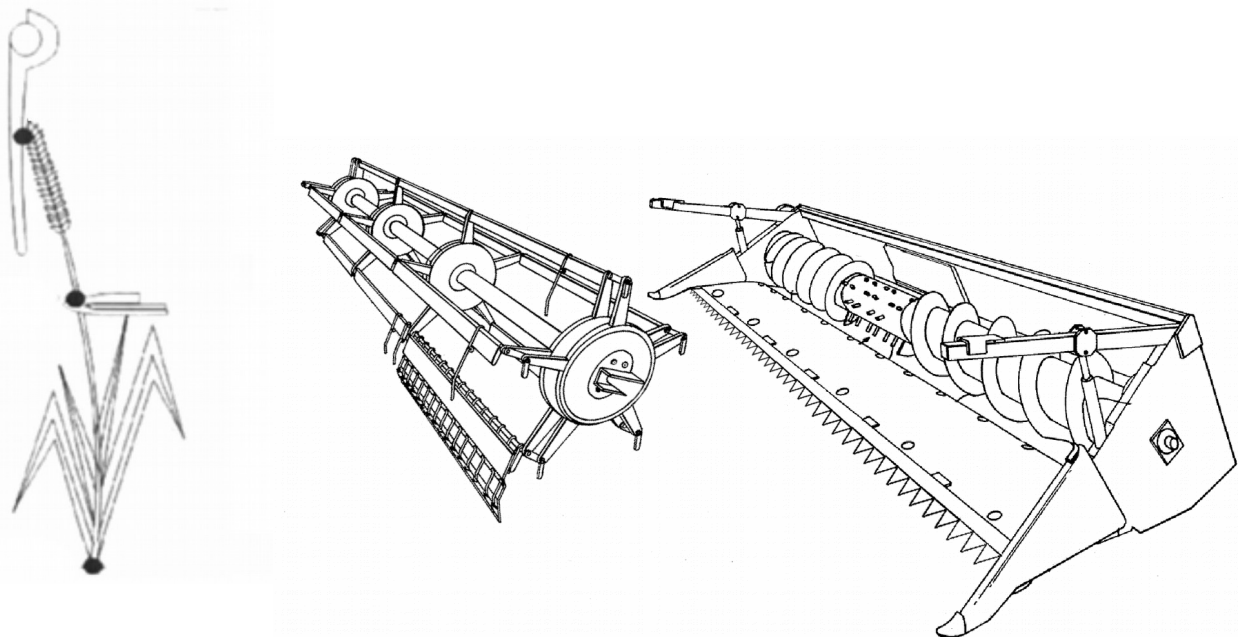


Fig. 4 se observa el cabezal. El molinete se presenta separado a la derecha para poder visualizar el sinfín. En el extremo derecho se observa como la planta anclada en el suelo, tiene un punto de apoyo en el molinete para no volcarse hacia delante mientras es cortada por la barra de corte.



## 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 para poder levantar el cultivo cuando está volcado (Hanna & Quick 2007).

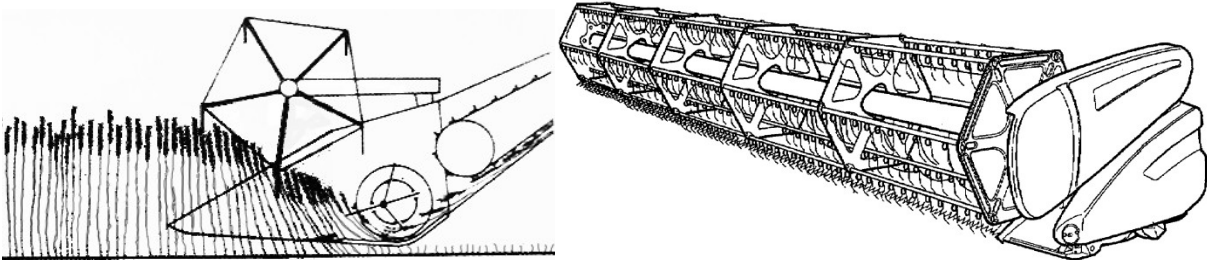


Fig. 5 molinete

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. 6):

Índice de Molinete = Velocidad tangencial del molinete / Velocidad de avance de la cosechadora

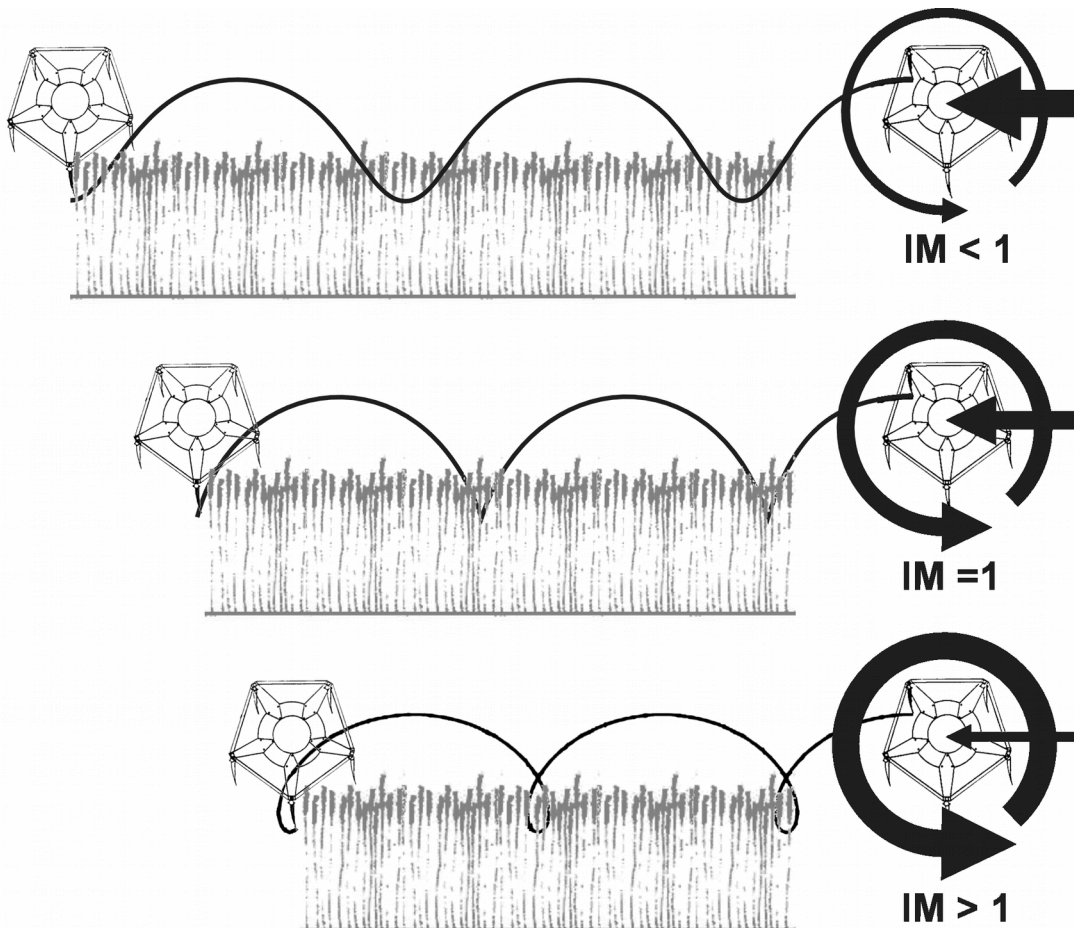


Fig. 6 recorrido de un diente del molinete con diferentes índices de molinete.

## 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. 7 ). 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. 7 ).

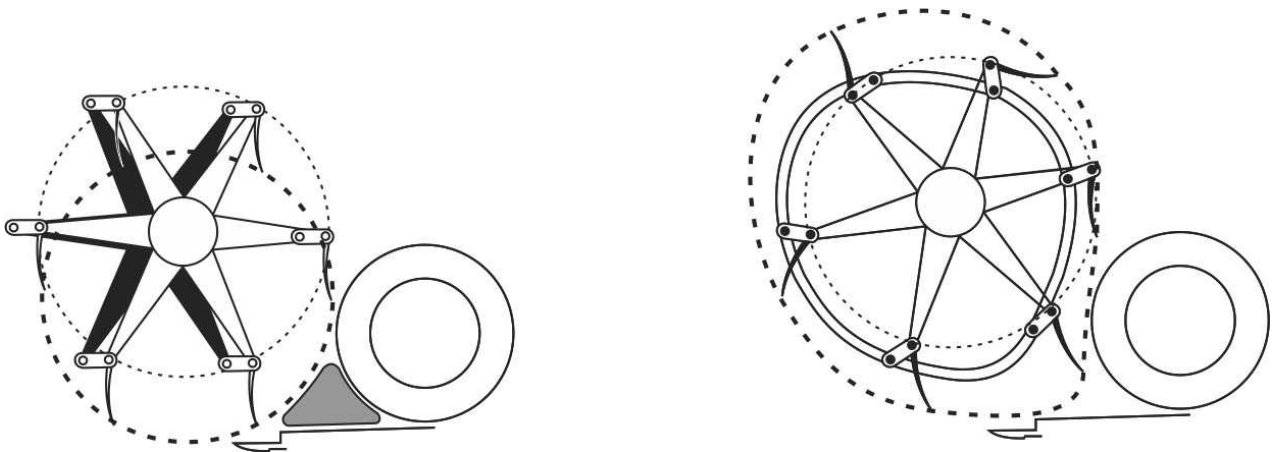


Fig. 7 a) molinete de dientes paralelos unidireccionales b) molinete de dientes orbital.

## 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).

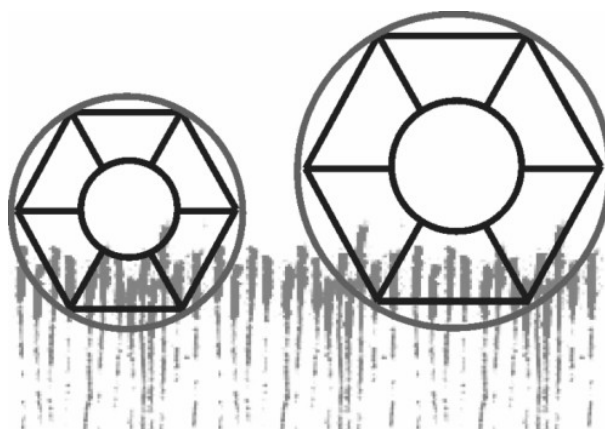


Fig. 8 influencia del diámetro.

### Numero de barras

A mayor número de barras, más continuo y uniforme es la entrega del cultivo al sistema de trilla, aunque el número 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 desalajo.

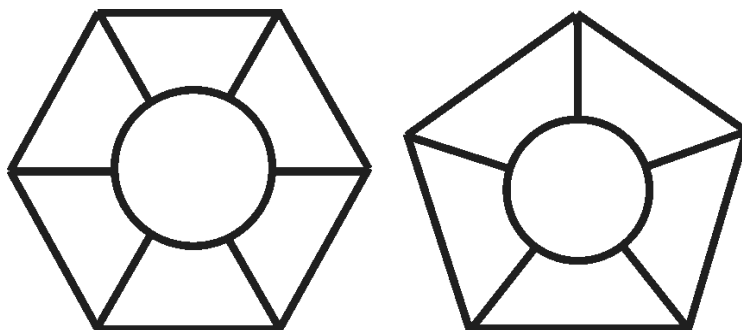


Fig. 9 molinetes de seis y cinco barras

### Accesorios para recoger cultivos ralos

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.

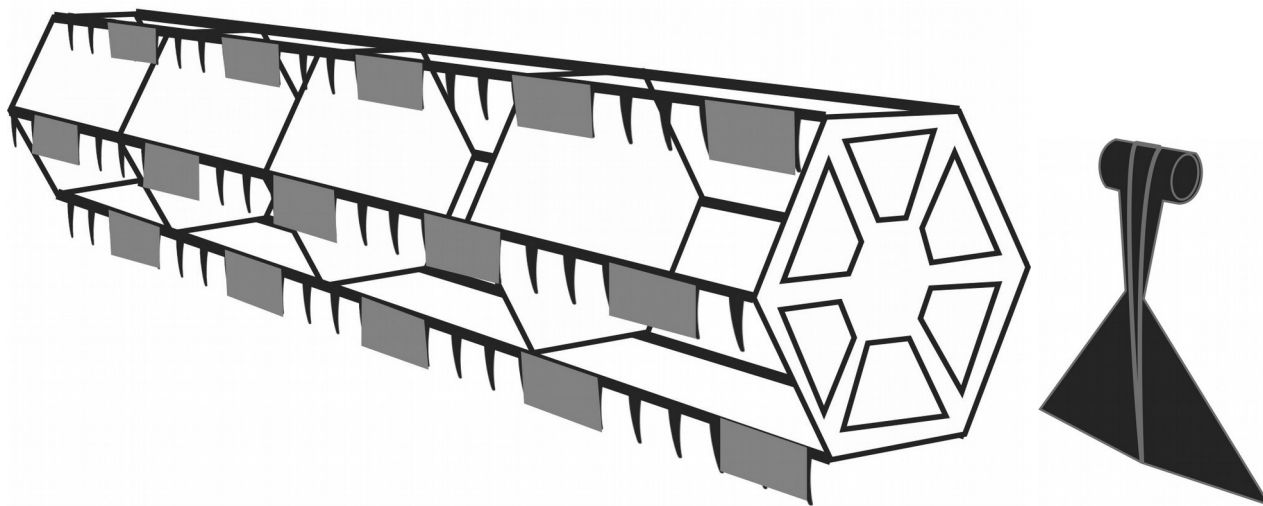


Fig. 10 molinete con lonas para cultivos ralos (izq.) paleta acoplable (der.).

### 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. 12).
- 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.

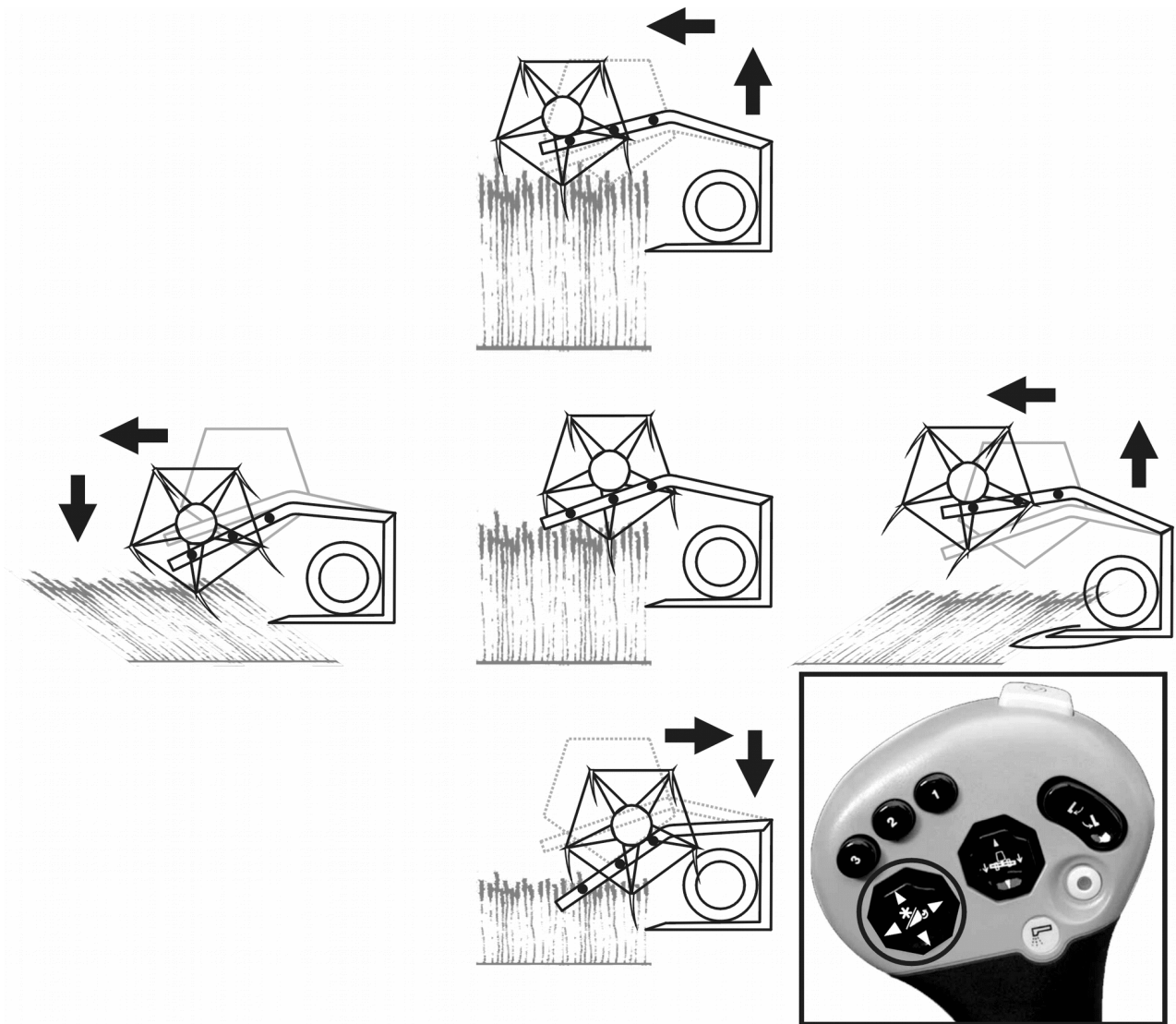


Fig. 11 Regulación de la posición del molinete según el estado del cultivo. En el recuadro se observa la palanca de mando de la cosechadora, resaltado el comando para realizar dichas regulaciones.

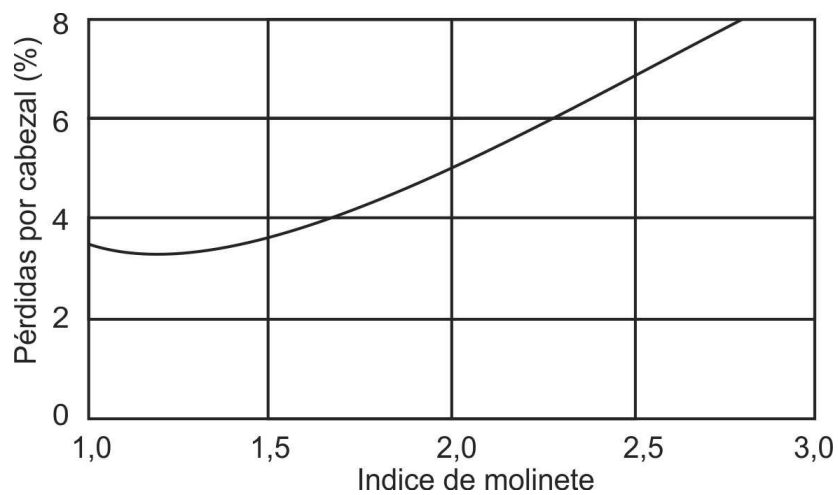


Fig. 12 Pérdidas de cosecha por cabezal a diferentes índices de molinete. Las pérdidas se incrementan exponencialmente por encima de un índice de molinete de 1,5 (Hunt & Wilson, 2015).

## 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. 13 ). 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. 13 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. 13 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. 13 derecha), que limitan su desplazamiento vertical y disminuyen la fricción y el desgaste (Schumacher & Schumacher, 2014).

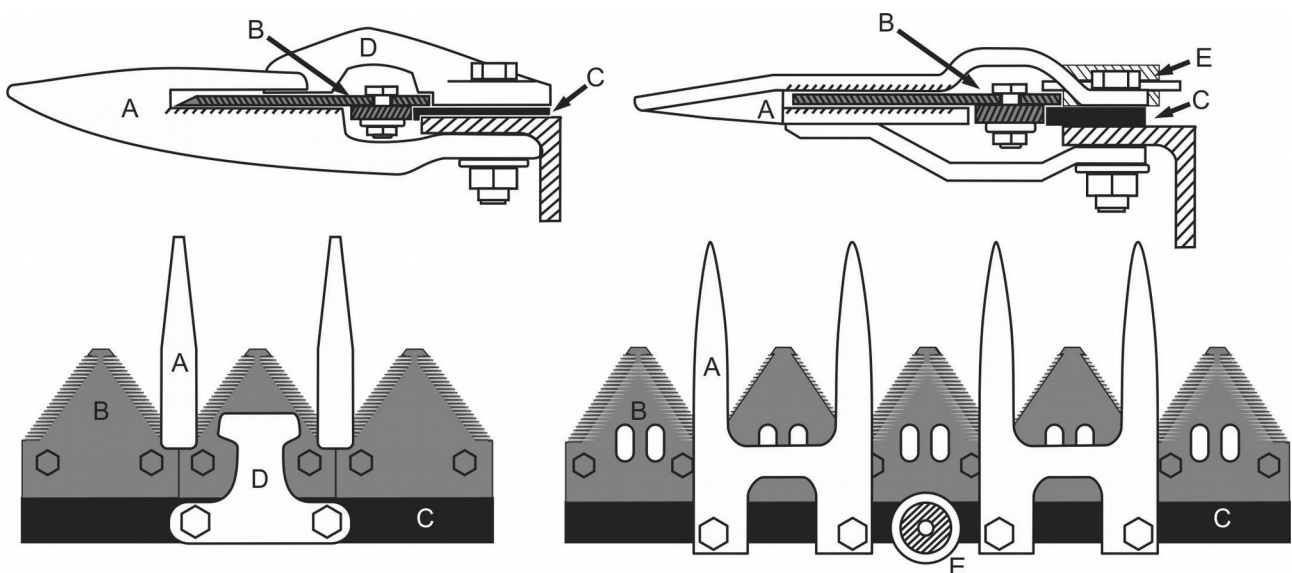


Fig. 13 Diferentes diseños de barras de corte que se pueden encontrar en las cosechadoras. A la izquierda una barra de corte de diseño convencional y a la derecha una barra de corte Schumacher. Arriba en vista lateral y abajo en vista superior. A) puntón, B) cuchilla, C) placa de desgaste, D) sujetador, 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. 13 ).

Otra característica de las barras de corte son las siguientes:

- 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. 14 ). 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

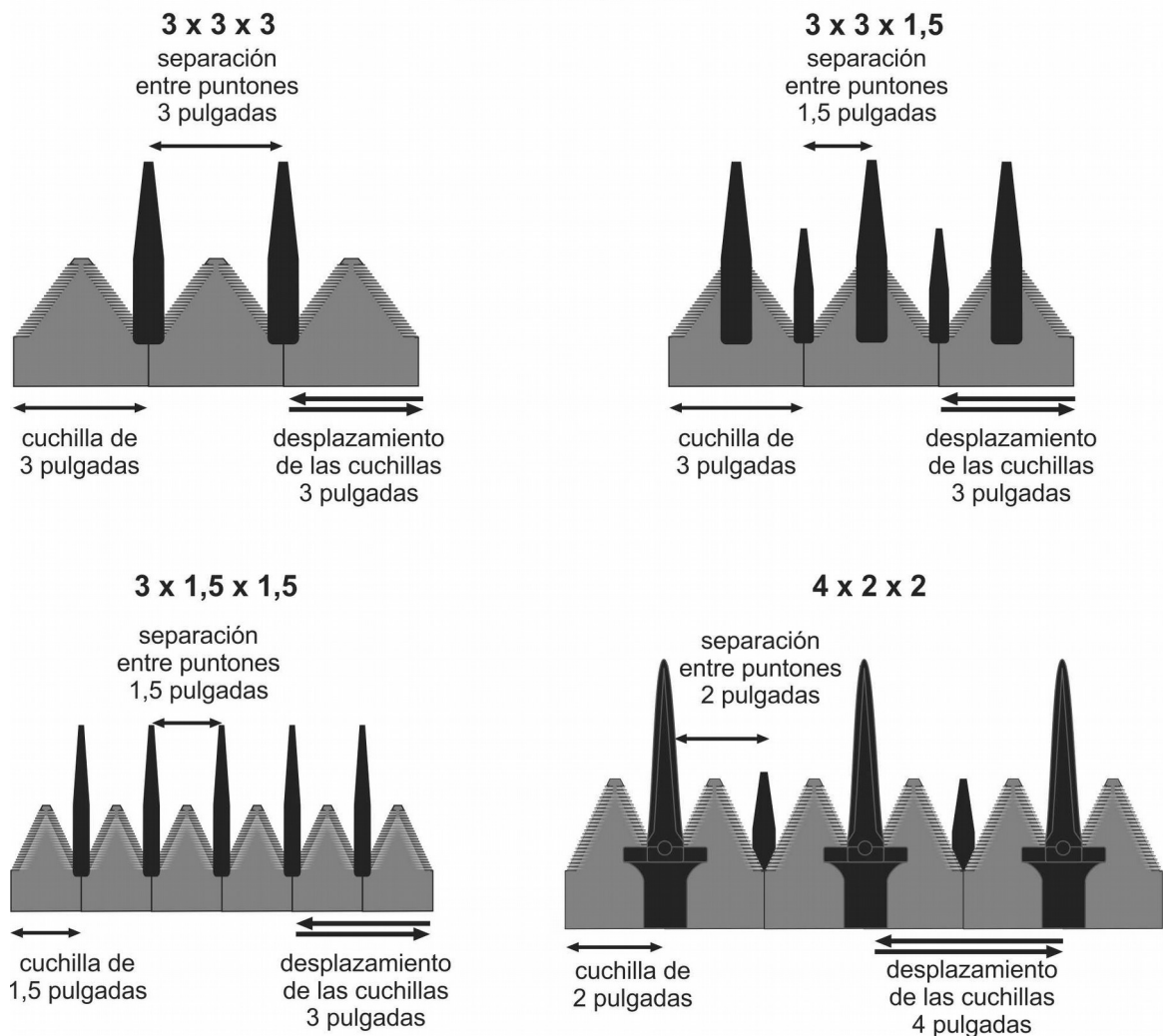


Fig. 14 Barras de corte convencionales y de paso angosto.

### Cinemática del corte

Como se observa en la Fig. 15 , 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.

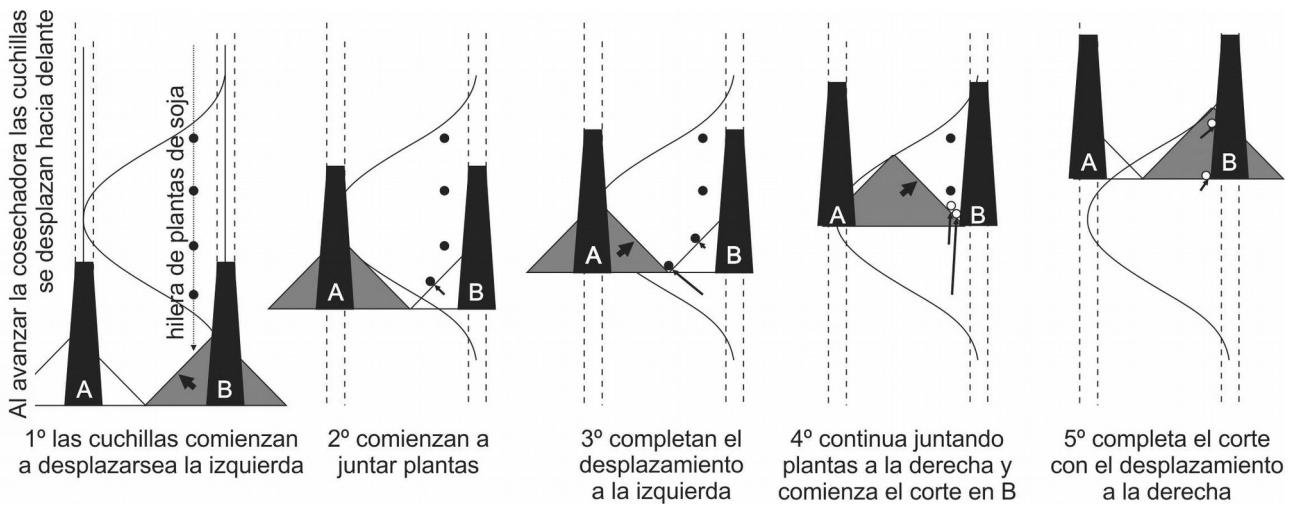


Fig. 15 Cinemática del corte con una barra de 3x3x3.

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. 16)

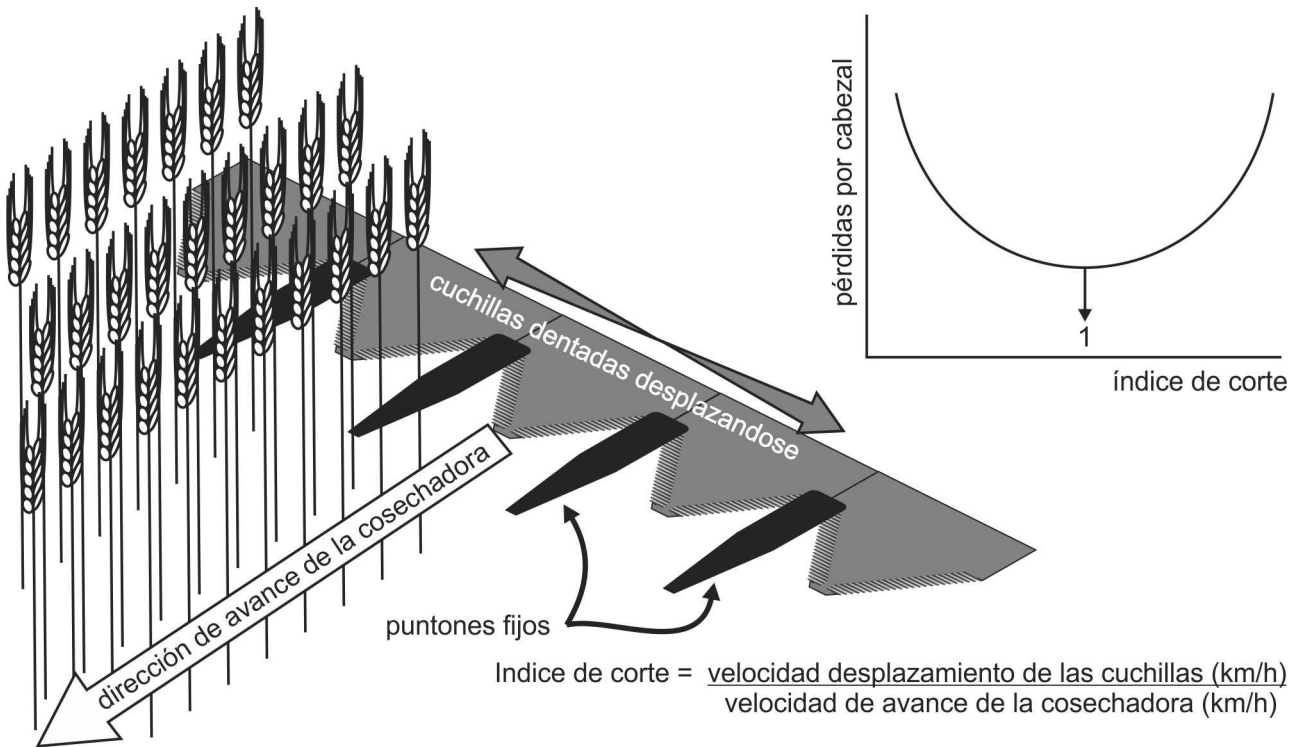


Fig. 16 Índice de corte. Las pérdidas del cabezal en el cultivo de soja se reducen con índices de corte cercanos a 1 (Quick, 1972).

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. 17 se observa el efecto de dos velocidades de avance sobre las pérdidas por desgrane.

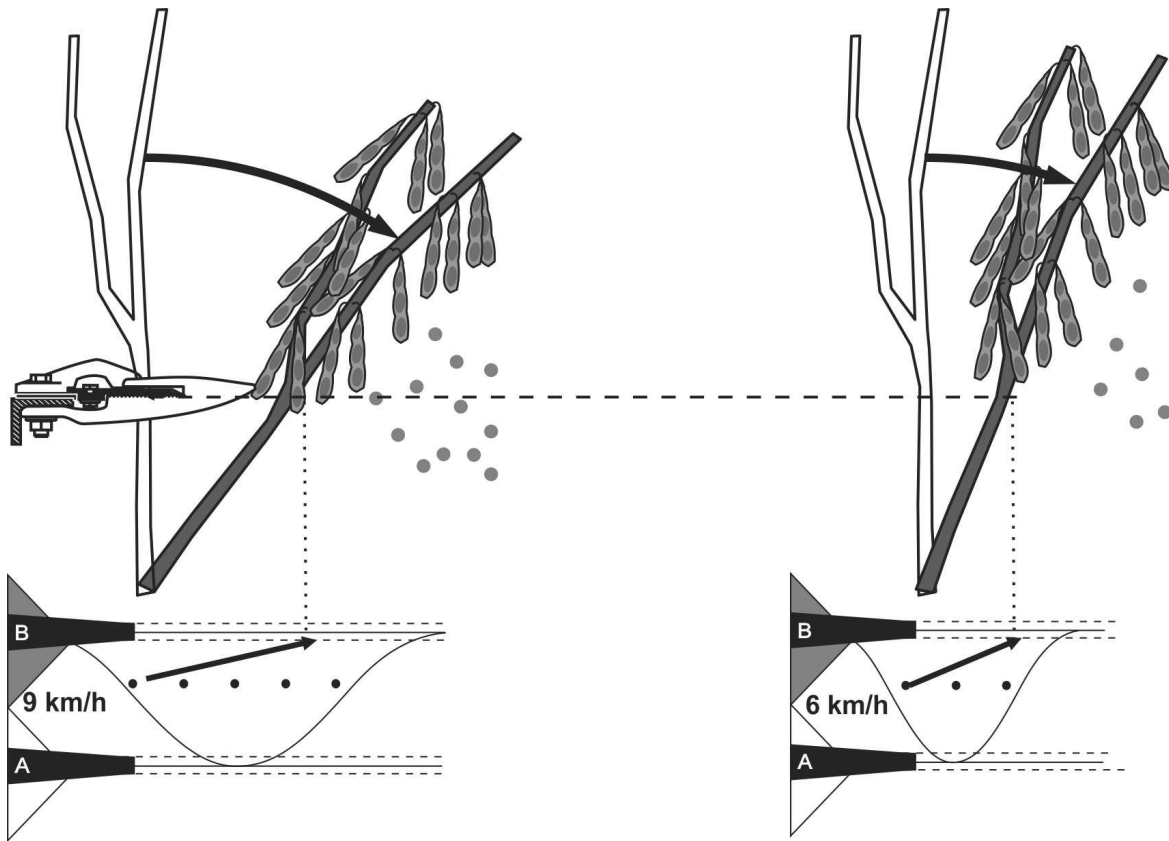


Fig. 17 El aumento de la velocidad de avance incrementa la distancia que se desplaza una planta hasta que es cortada, provocando una mayor inclinación de la misma y un aumento de pérdidas de granos. Las barras de corte de paso angosto reducen las pérdidas por desgrane porque al recorrer una distancia menor para realizar el corte, reducen la inclinación de las plantas (Fig. 18 ).

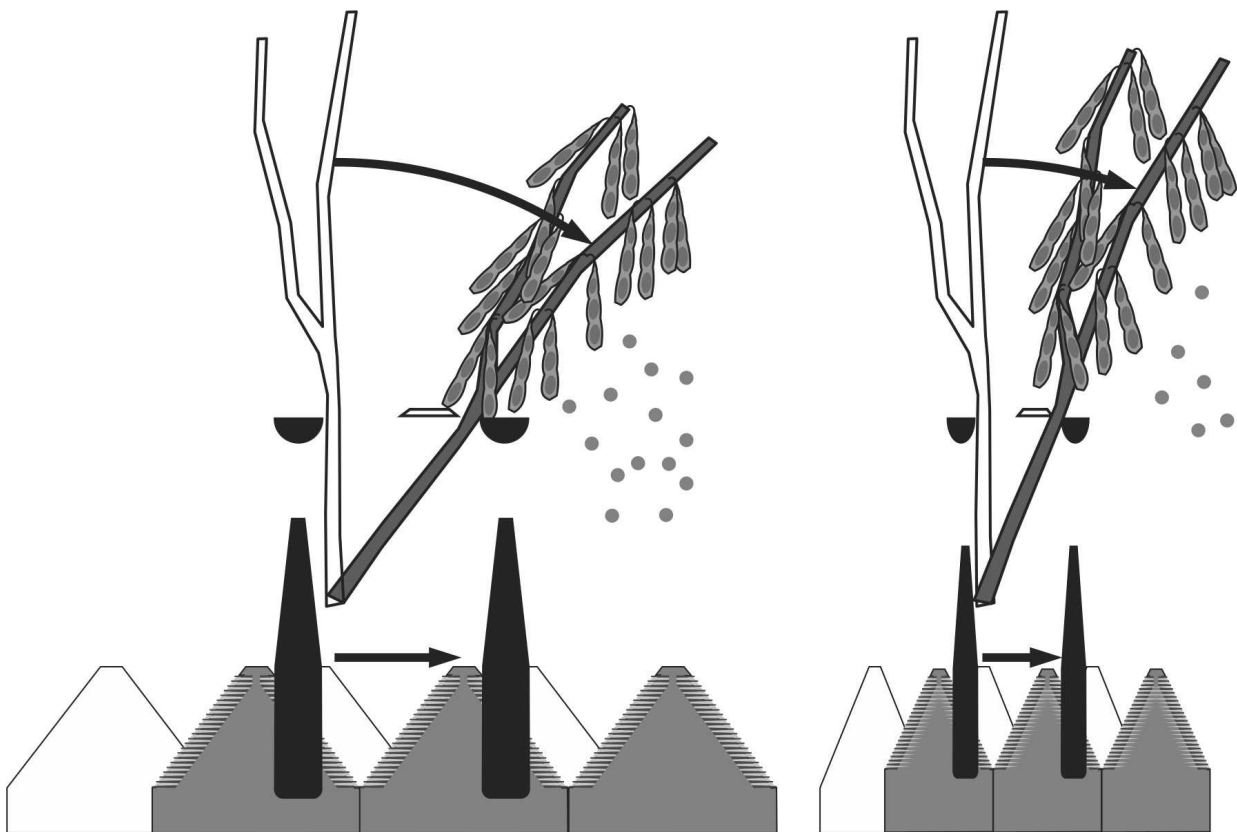


Fig. 18 Las barras de corte de paso angosto recorren una distancia menor para realizar el corte, provocando un menor ángulo de inclinación en las plantas y reduciendo las pérdidas de granos en el cultivo de soja.



### 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 perdidas por desgrane ().

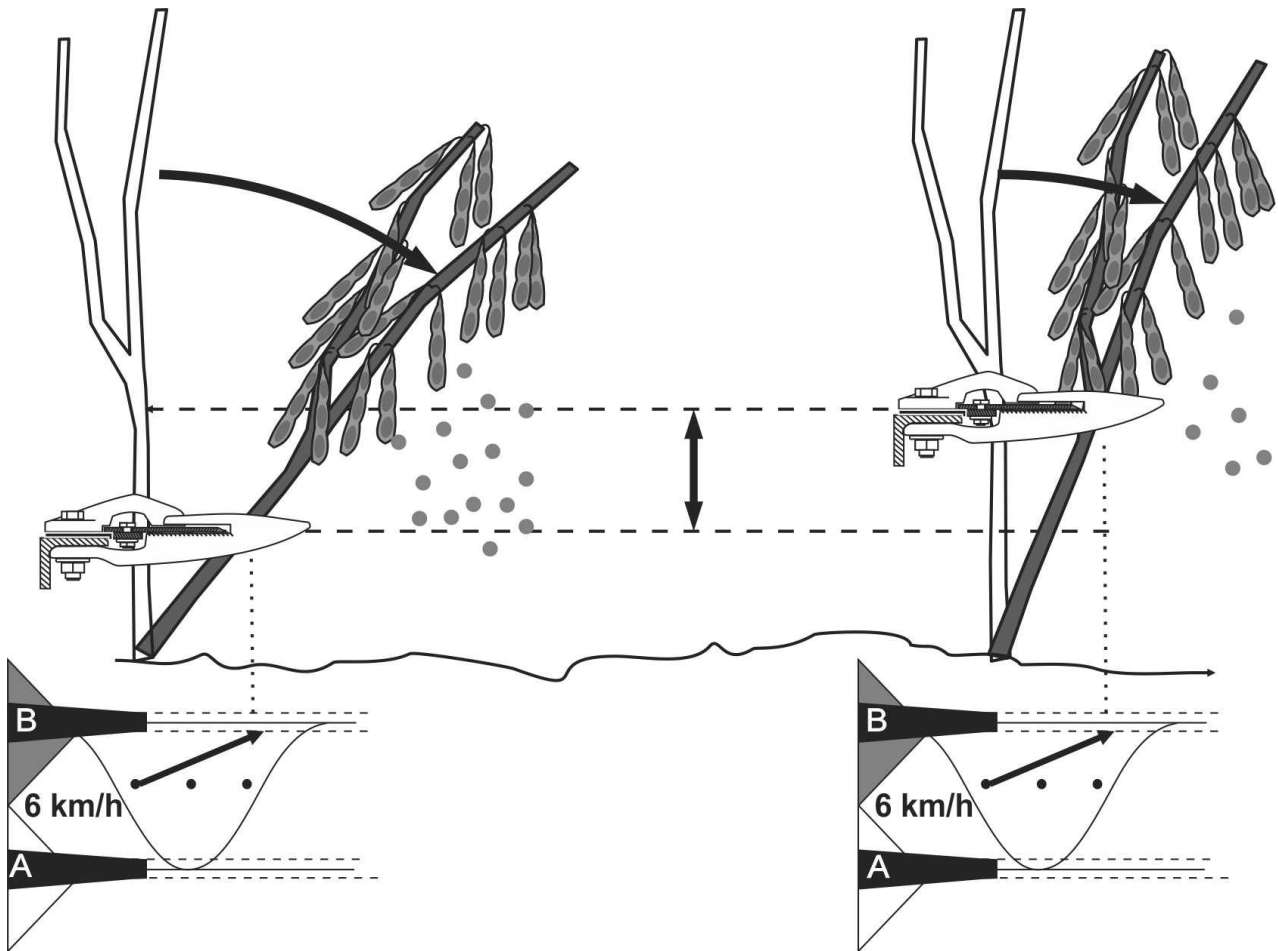


Fig. 19 Una altura de corte demasiado baja puede aumentar las perdidas por desgrane en el cultivo de soja.

## 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).

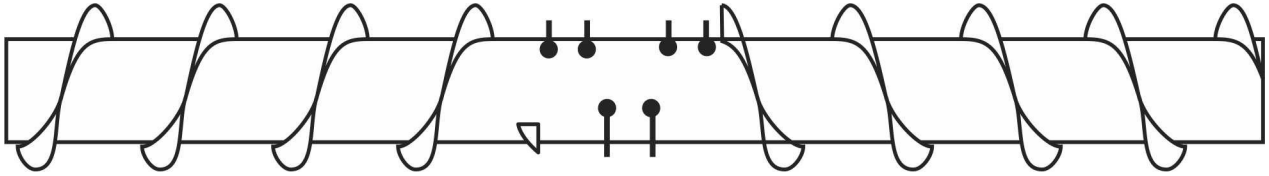


Fig. 20 esquema de un sinfín.

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).

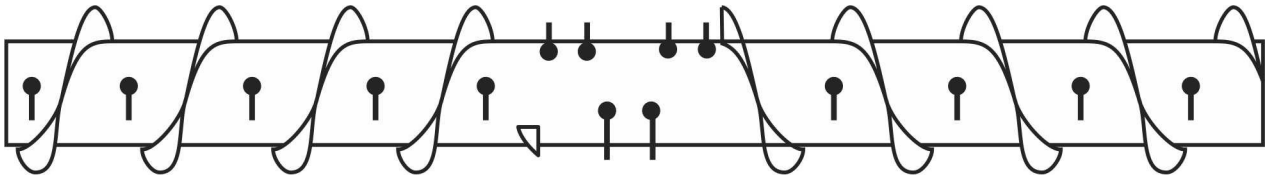


Fig. 21 dedos retractiles en todo el ancho del sinfín.

### 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.

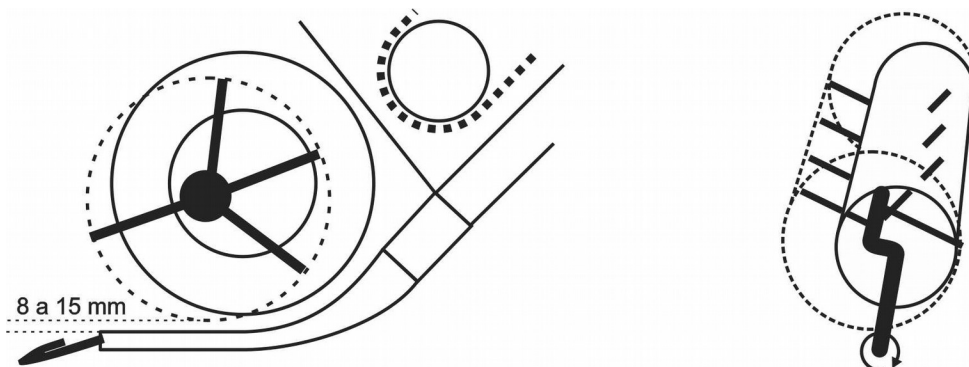


Fig. 22 regulaciones del sinfín.

## 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 automático de altura del cabezal

En la Fig. 23 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).

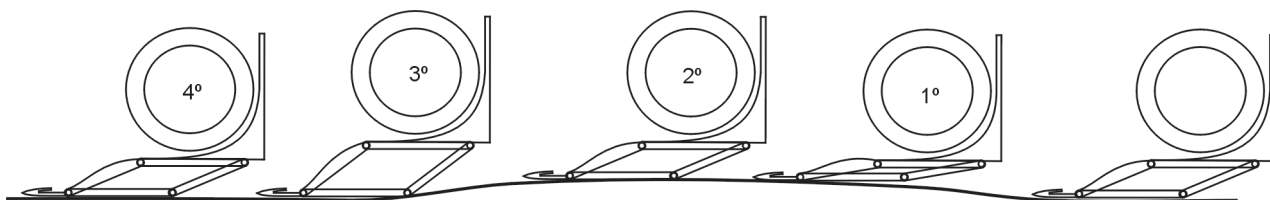


Fig. 23 cabezal en vista lateral copiando las irregularidades del terreno. 1° la barra de corte flotando sobre la superficie del suelo, encuentra una loma y se eleva evitando enterrarse. El mecanismo de copiado del terreno queda plegado en su punto superior perdiendo capacidad de elevarse. 2° El control 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. 3° Pasada la loma la barra de corte desciende. 4° 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.

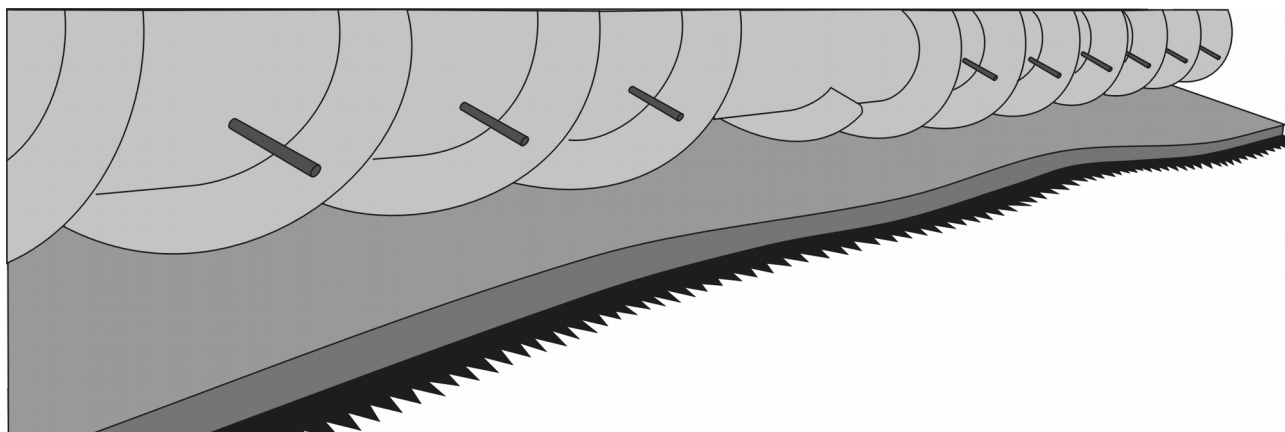


Fig. 24 barra de corte flexible.

### 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.

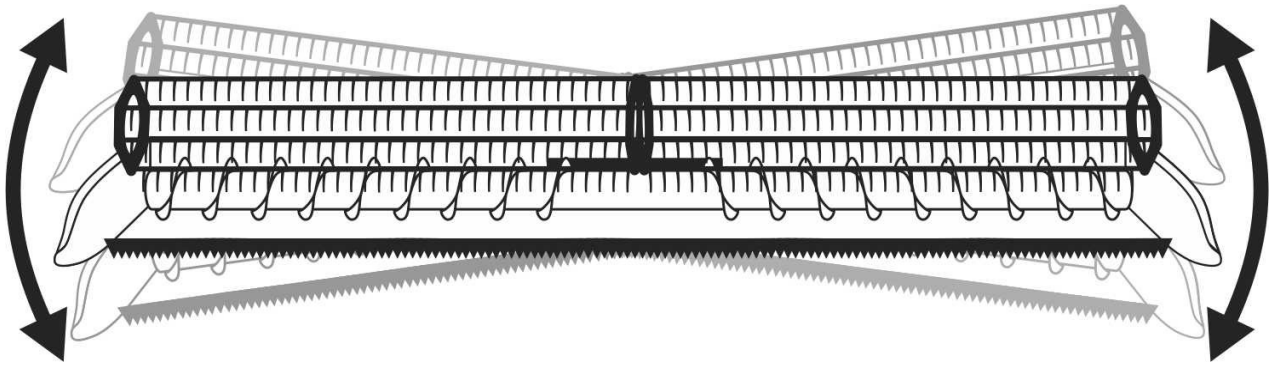


Fig. 25 cabezal con autonivelante automático.

## 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.

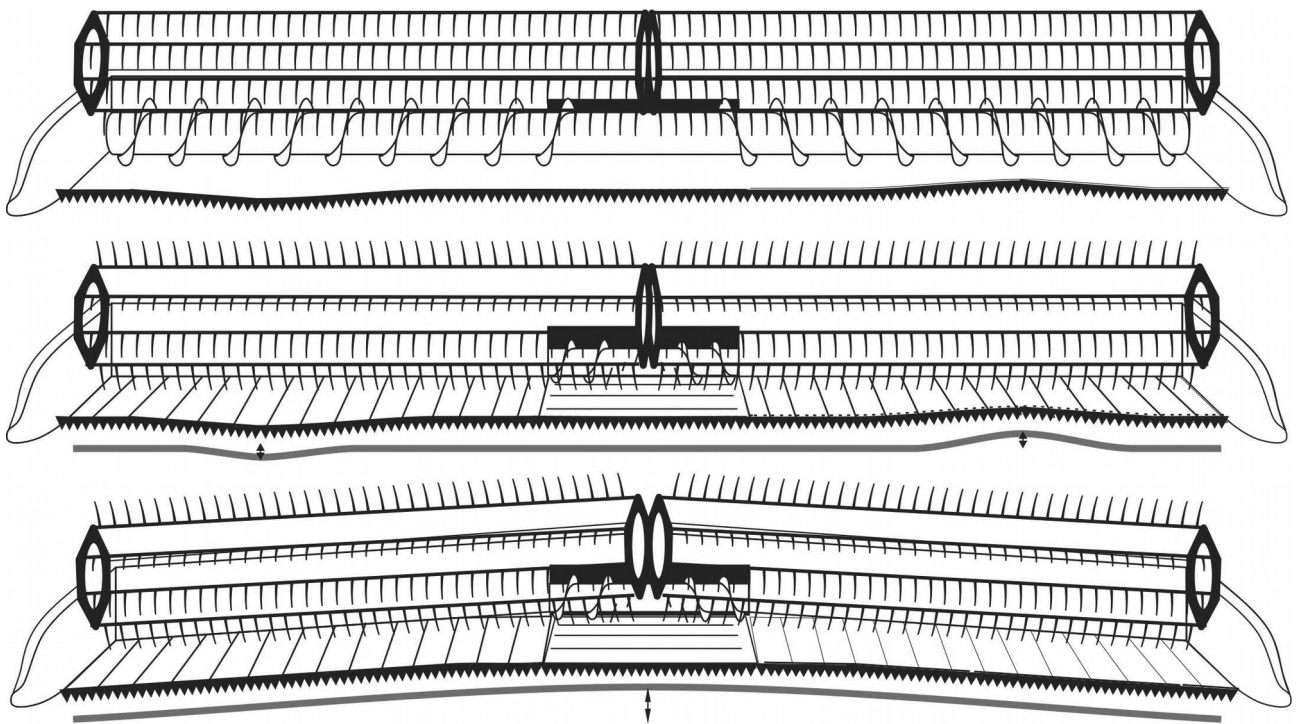


Fig. 26 Diferentes diseños de cabezales con barra de corte a) con sinfín, b) con lonas y barra de corte flexible c) con lonas y barra de corte rígida articulada.

### 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 la 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.

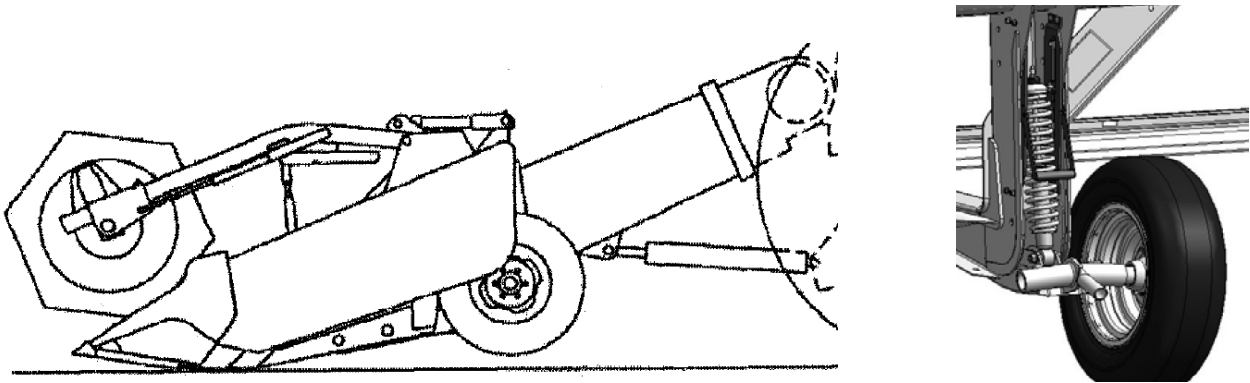


Fig. 27 Las ruedas estabilizadoras se pliegan cuando el cabezal trabaja flotante y se bajan cuando el cabezal trabaja elevado para estabilizarlo.

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

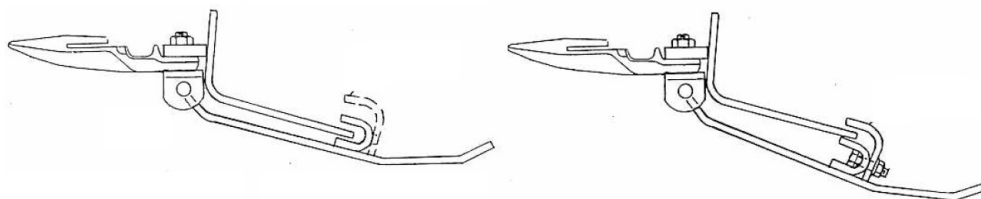


Fig. 28 El patín es la única alternativa para regular la altura de corte cuando el cabezal trabaja flotando.

### 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.

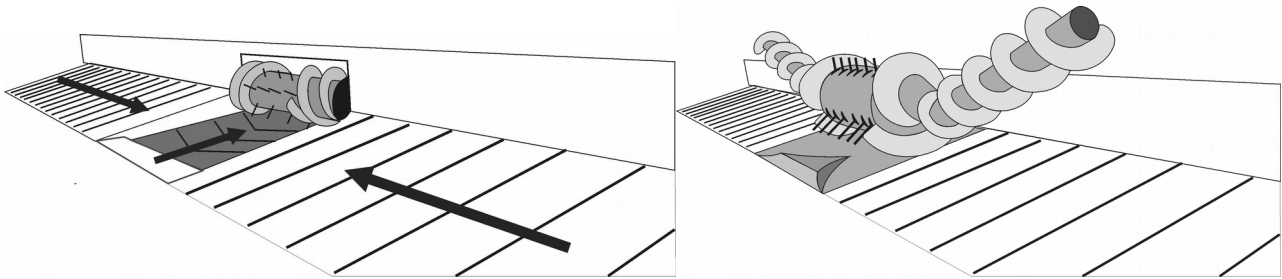


Fig. 29 Distintos sistemas de entrega del cultivo al acarreador

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. 30 ). 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.

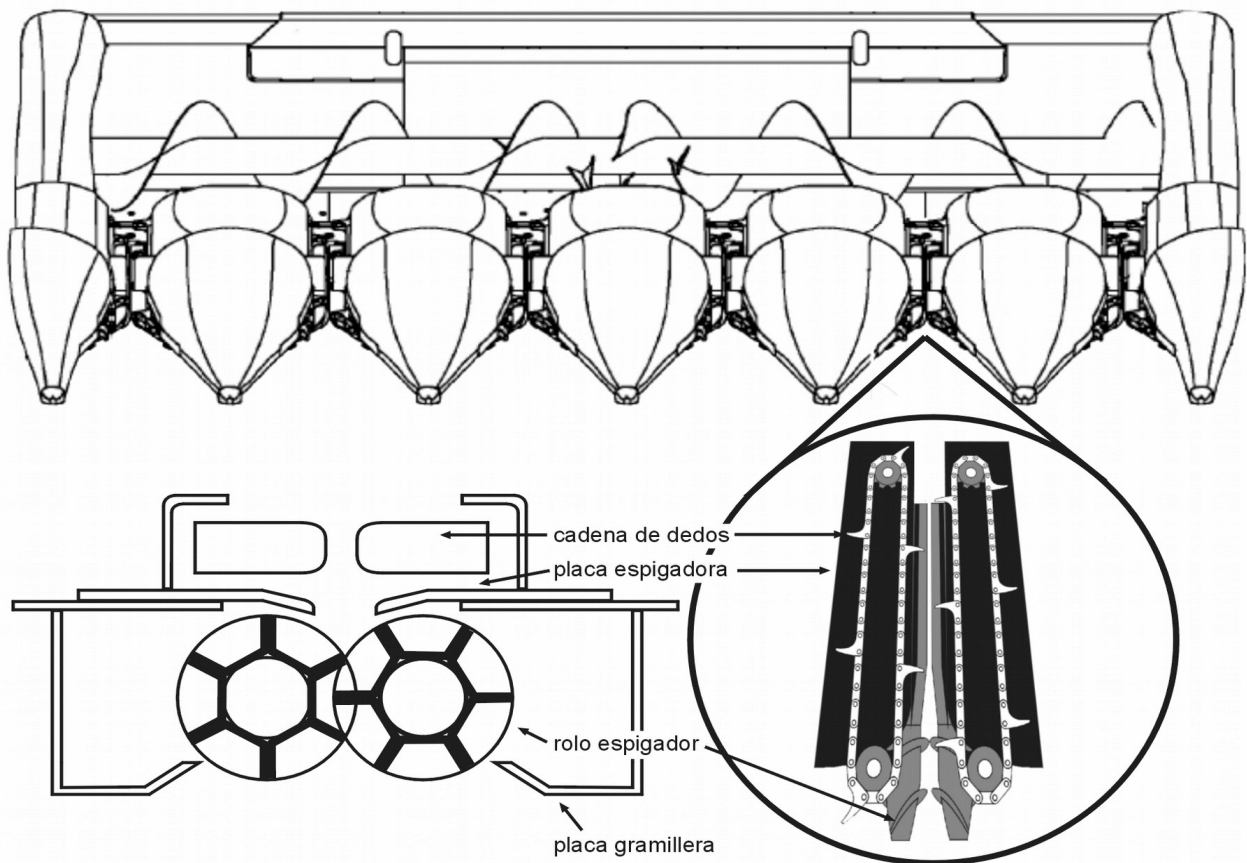


Fig. 30 Cabezal maicero

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.

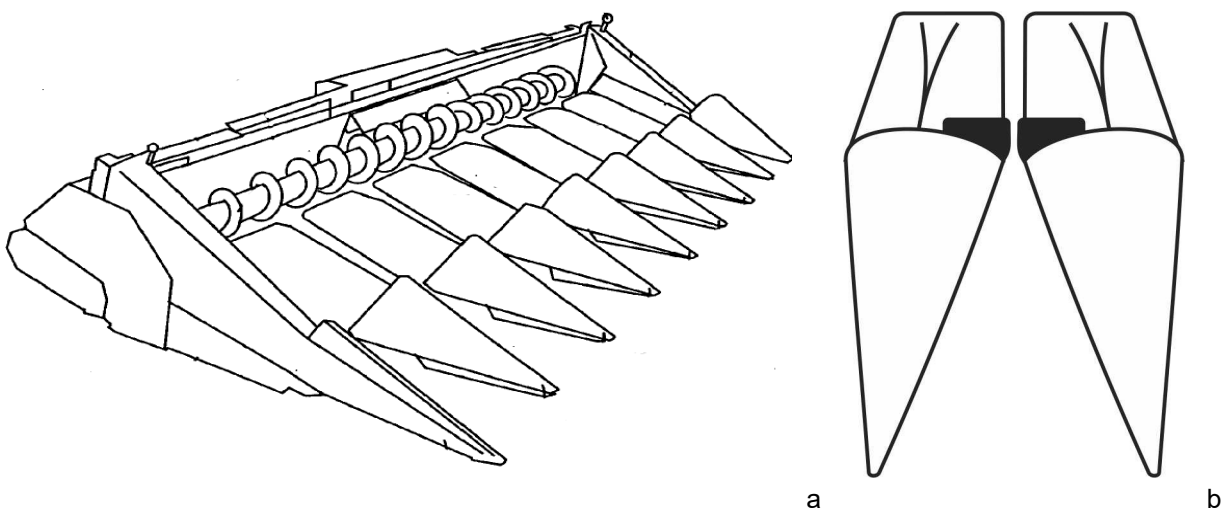


Fig. 31 a) la parte posterior de los puntones de los cabezales maiceros, presentan una zona hundida para contener las espigas que al desprenderse de las plantas suelen rebotar con riesgo de caer al terreno. b) pantallas salva espigas (también se las llama válvulas de retención), de material flexible (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.

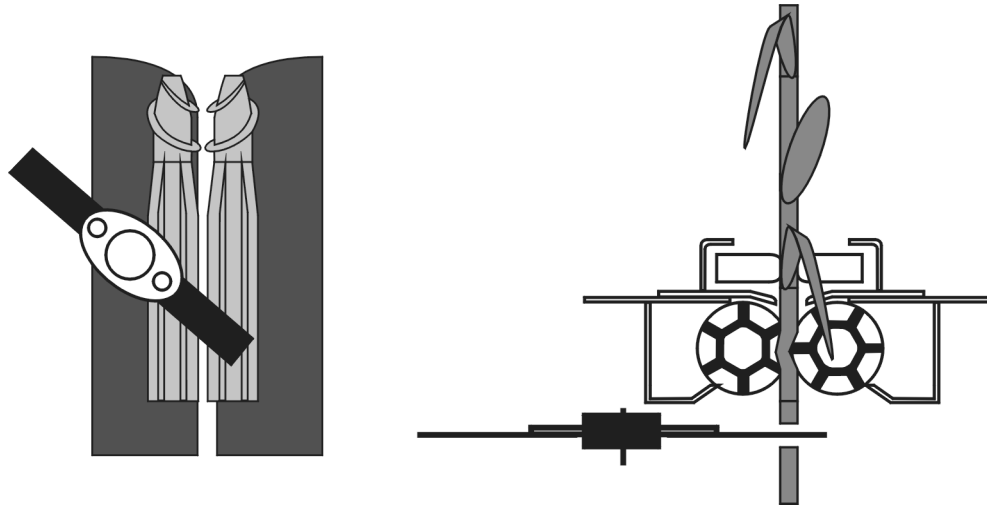


Fig. 32 Triturador de tallo vista desde abajo y de frente (en corte).

**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.

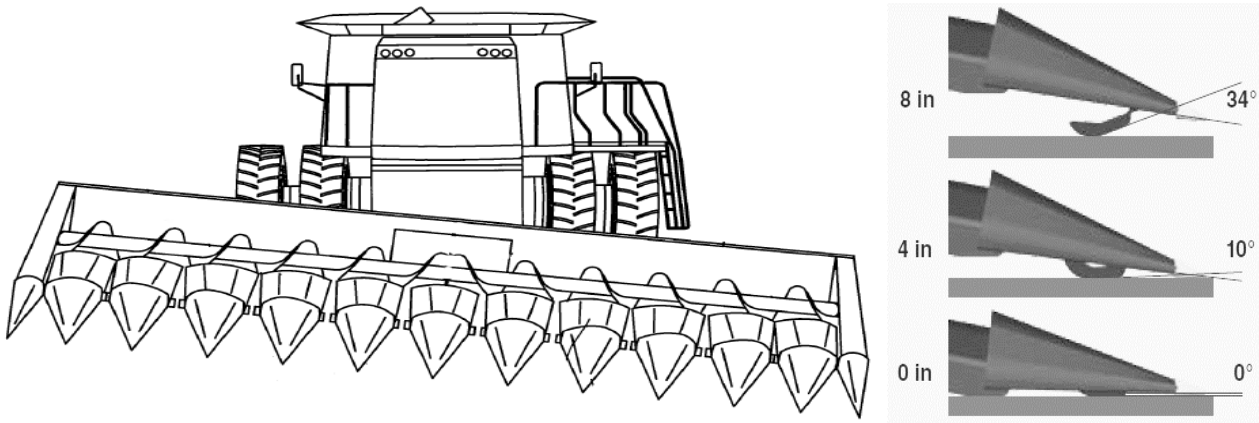


Fig. 33 Control de posición ajustando el cabezal lateralmente de acuerdo al control del terreno realizado por los patines (derecha).

**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).

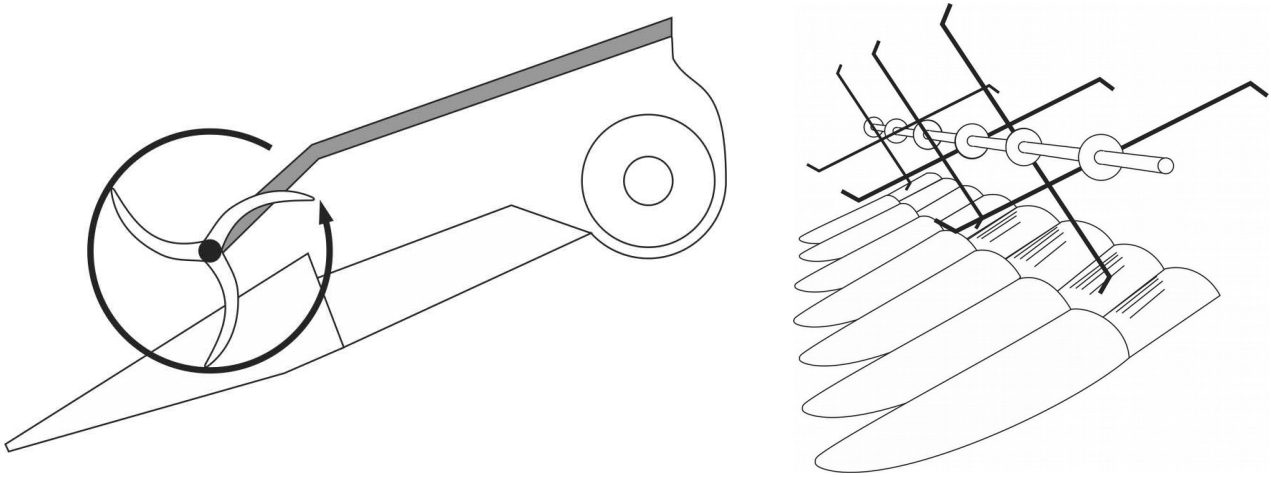


Fig. 34 Molinete para levantar plantas volcadas. Izquierda, molinete Geringhof (Surmann et al., 2015). Derecha, molinete Shoup (Shoup, 2017).

### 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. 35 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. 35 derecha). Además los puntones han sido recortados en la base ( ), 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

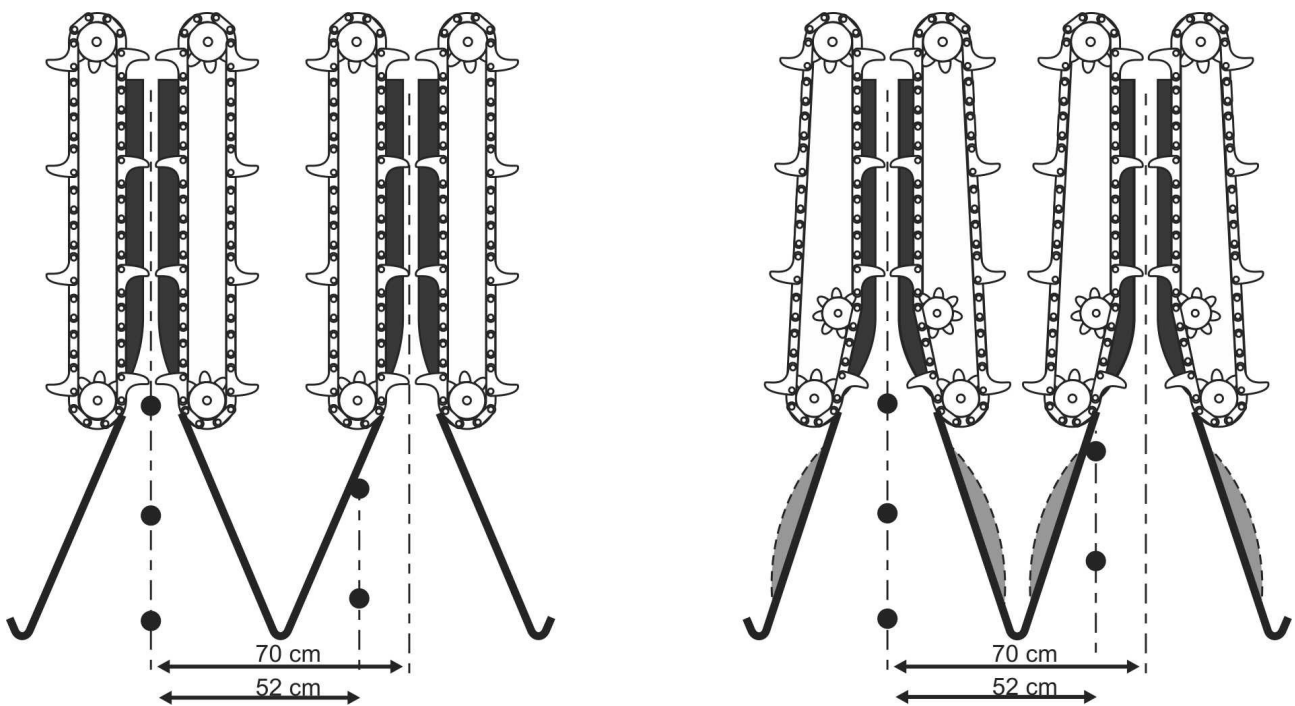
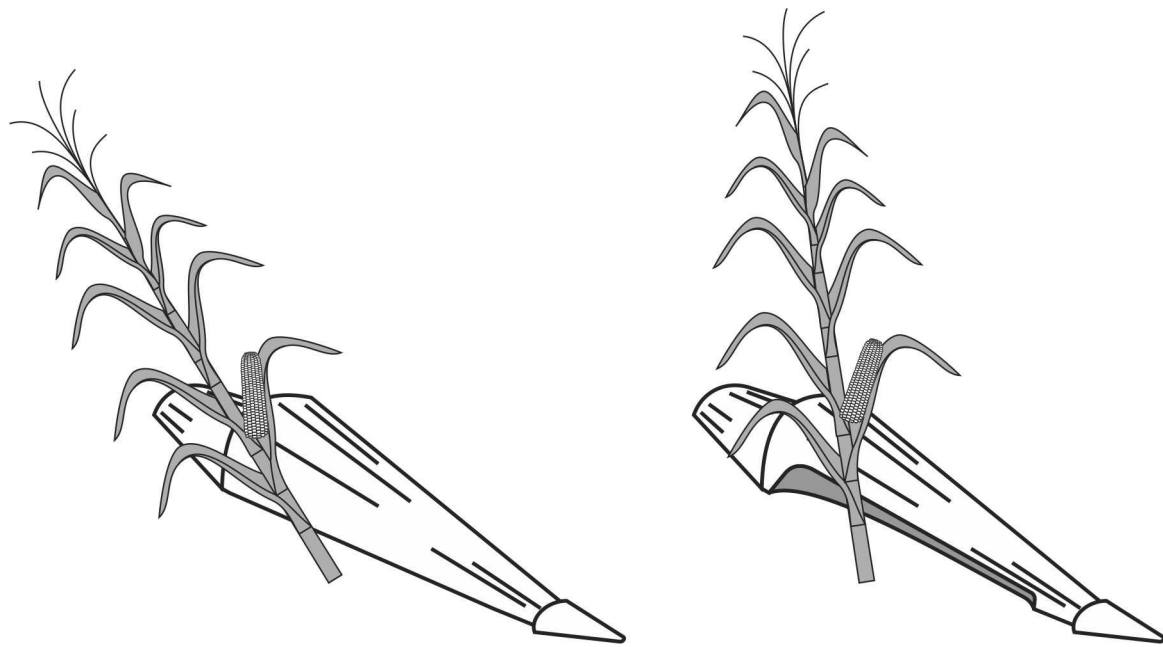


Fig. 35 Izquierda: esquema de un cabezal maicero convencional para cosechar hileras a 70 cm en un cultivo con hileras a 50 cm. Derecha: un cabezal multidistancia en la misma situación (Lambertini, 2017).



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.

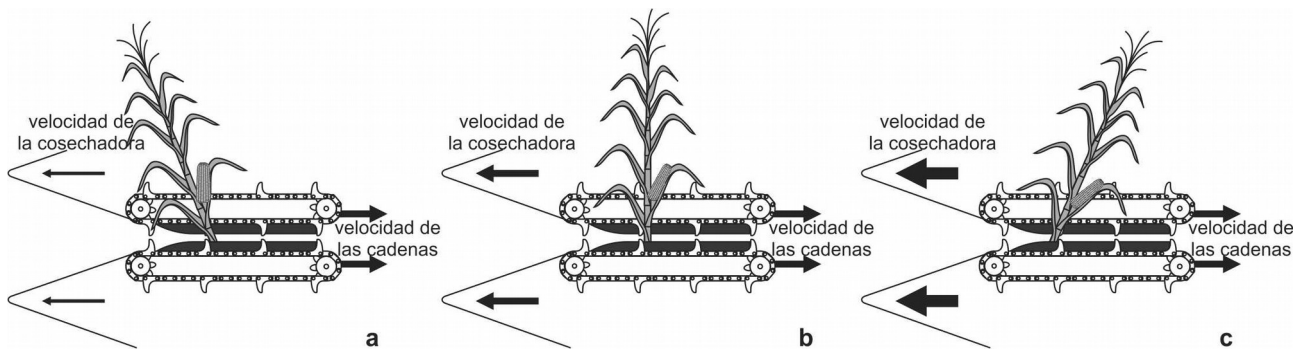


Fig. 36 Efecto sobre las plantas de la relación entre la velocidad de las cadenas y la velocidad de avance.

### 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).

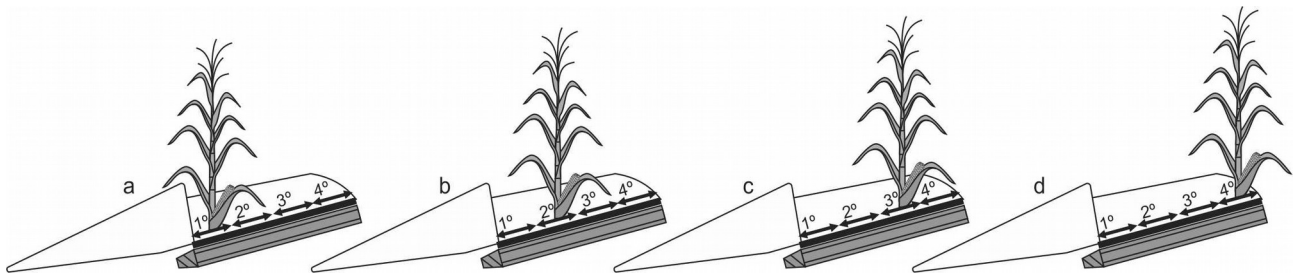


Fig. 37 Posición donde se desprende la espiga según el ajuste del régimen de giro de los rolos y la velocidad de avance.

### 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).

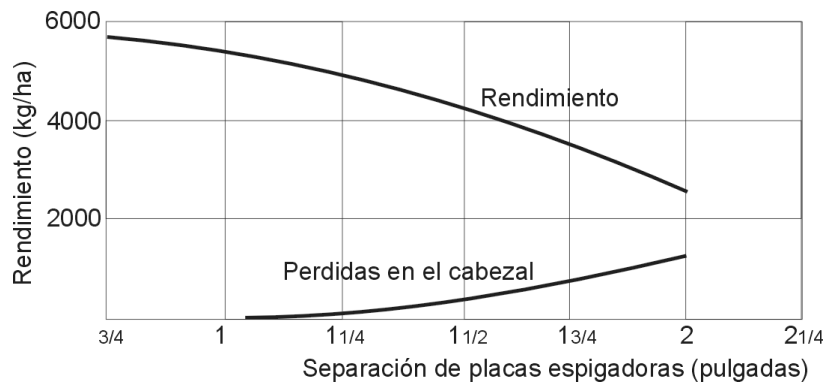


Fig. 38 Evolución del las pérdidas de granos sueltos en el cabezal al aumentar la separación entre placas.

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

Cuando 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. 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

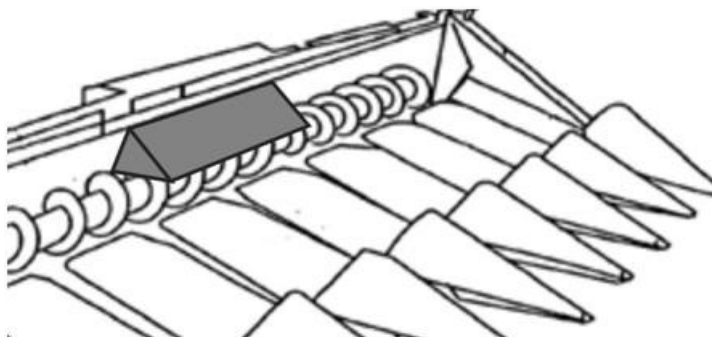


Fig. 39 Tapa sobre el centro del sinfín para los casos en que este arroje espigas al suelo.

#### 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 cultivo de girasol se cosecha con cabezales específicos de 5 a 12 metros de ancho, que permiten cortar los tallos en la base de los capítulos, para evitar que el resto de la planta ingrese a la cosechadora (Hofman & Hellevang, 1997).



Fig. 40 Cabezal girasolero

Los elementos más distintivos de estos cabezales son las bandejas que presenta en la parte frontal, de aproximadamente 1,75-1,85 m de largo. Debido a su longitud son reforzadas con una barra de soporte en la parte inferior. Las bandejas presentan un frente triangular agudo para introducirse suavemente entre las hileras del cultivo, conduciendo las plantas dentro de la garganta, que es el espacio que queda entre las bandejas. Este espacio debe regularse entre 3 a 5 cm, de acuerdo al tamaño de los tallos del cultivo para que estos no se atoren. Las bandejas juntan el grano que se desprende de los capítulos de girasol mientras son recolectados y se suelen ajustar con un ángulo de inclinación de unos 4 grados, para que el grano que cae en las mismas se desplace al cabezal. Si bien todavía se encuentran cabezales girasoleros en los que el ancho de las bandejas coincide con la distancia entre hileras del cultivo (ya sea 52 o 70 cm), la tendencia es a utilizar cabezales con bandejas mas angostas en las que el ancho se redujo a la mitad. La ventaja de las bandejas angostas reside en que cuando el cultivo se encuentra desalineado, las plantas no se deben inclinar tanto para entrar en la garganta más cercana, evitando de este modo un excesivo desgrane.

Sobre la parte posterior de las bandejas se encuentra el escudo (o tambor) que empuja hacia adelante las plantas, inclinándolas hasta que el capítulo se apoya sobre las bandejas y consigue pasar por el espacio entre medio de las bandejas y el escudo. El escudo se regula en altura de acuerdo al tamaño de los capítulos para que estos no se atoren. Mientras que algunos cabezales girasoleros tienen un escudo es una chapa que va dispuesta de forma fija, otros diseños tiene un tambor giratorio que cumple la misma función pero al ser giratorio, permite adsorber parte de la energía cinética que trae el capítulo con su movimiento (INTA PRECOP 2012).

Mientras las plantas son empujadas por el escudo y el tallo va descendiendo entre las bandejas, debajo de estas va girando el destroncador, que es un eje con aletas dentadas que al girar tracciona hacia abajo los tallos del cultivo para el caso de que se atoraran entre las bandejas.

Debajo de la parte posterior de las bandejas se encuentra la barra de corte que va a separar el capítulo del resto de la planta. Solo cuando el capítulo se apoya en las bandejas y se desplaza hacia atrás del escudo, la planta entra en contacto con la barra, que de este modo realiza el corte en la base del capítulo. Para que esto se cumpla se debe adelantar el escudo hasta que la línea que va del destroncador hasta el frente del escudo se encuentre unos 10 cm delante de la barra de corte. La barra de corte es de diseño convencional con cuchillas de 3 pulgadas de ancho y puntones fijos a 3 pulgadas de distancia entre sí, pero tanto las cuchillas como los puntones no se disponen en todo el ancho del cabezal, sino solo en coincidencia con el

espacio entre bandejas o gargantas, por donde las plantas llegan a la barra para ser cortadas.

Sobre las bandejas, detrás del escudo o tambor, se encuentra un molinete tubular con tres púas o dedos en cada garganta. La función del molinete es sostener con estas púas, los capítulos mientras son cortados por la barra de corte y luego desplazarlos hacia atrás, a un sinfín que los va a transportar desde los extremos hasta el centro del cabezal. Al igual que el escudo, el molinete debe regularse en altura de acuerdo al tamaño de los capítulos cosechados, para evitar que se clave en estos, si trabaja muy bajo o que no llegue a hacer contacto con los capítulos si trabaja muy alto. La regulación en altura del escudo y el molinete suele realizarse en conjunto y cada vez es más común que la regulación se pueda realizar desde la cabina de la cosechadora.

De acuerdo a las normas de comercialización de girasol este debe cosecharse con una humedad base de 11% con una tolerancia en 14%. Cuando la cosecha se retrasa y la humedad baja de 10%, no solo se pierde rendimiento, sino que los capítulos son más susceptibles a partirse generando pequeñas piezas de material no grano que dificultan la limpieza (Serafín et al., 2014).

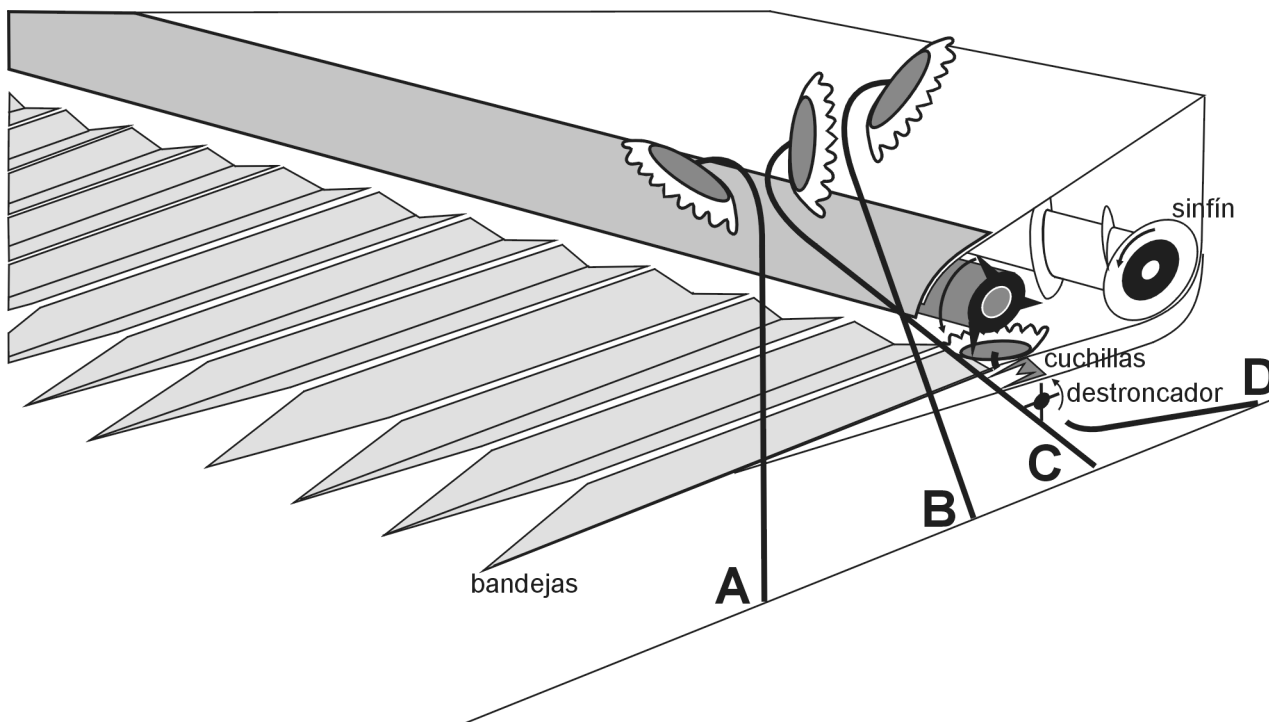


Fig. 41 Esquema de la recolección del cultivo en el cabezal girasolero. En la medida que el cabezal avanza sobre el cultivo, las plantas de girasol quedan entre medio de las bandejas (A) hasta que el escudo comienza a empujarlas hacia delante inclinándolas (B). Al inclinarse cada planta va a apoyarse sobre el destrocador debajo de las bandejas, que tracciona el tallo hacia abajo. Además el destrocador y el escudo dan dos puntos de apoyo al tallo que evitan que sea cortado por las cuchillas antes de que el capítulo baje hasta la bandeja (C). Cuando el capítulo 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.



## CABEZAL STRIPPER (desgranador)

Este cabezal es utilizado fundamentalmente para cosechar arroz, trigo y otros cereales de invierno, aunque se ha probado en otros cultivos en los que no se adapta tan bien. Su funcionamiento se basa en un rotor con paletas dentadas, que entre sus dientes dejan un ojal o espacio similar al ojo de una llave.

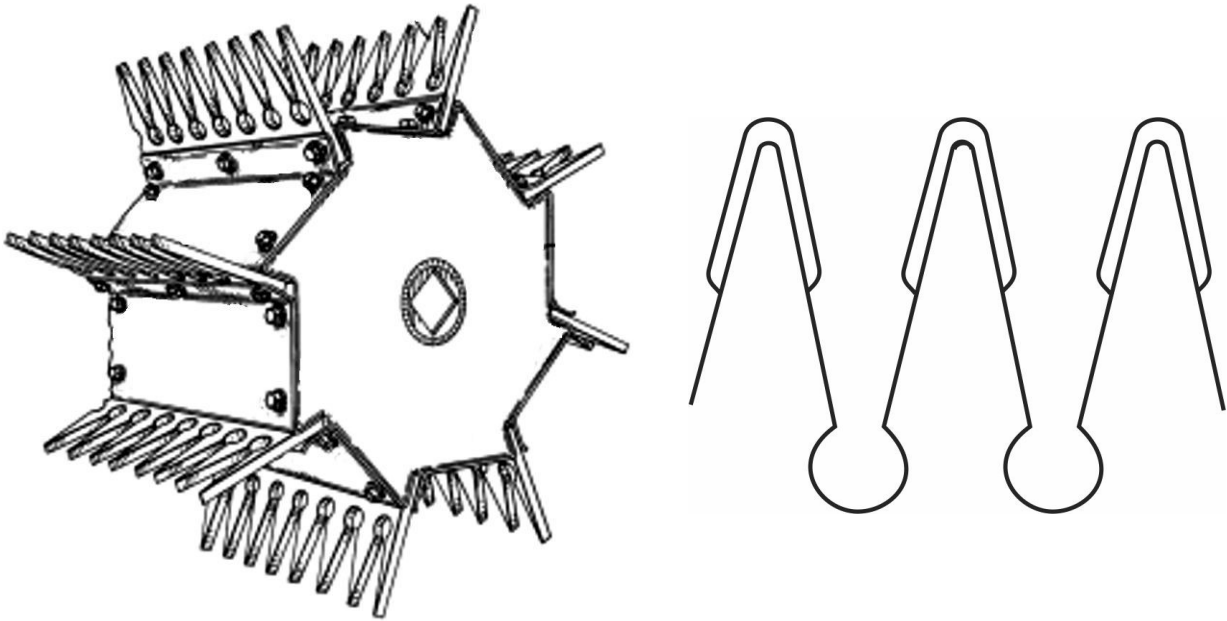


Fig. 42 A la izquierda un corte del tambor desgranador del cabezal stripper (Klinner 1988), y a la derecha un corte de un peine desgranador como los que se montan en el tambor (Shelbourne, 2001).

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 son desprendidos. De este modo aproximadamente el 80% de grano es trillado en el cabezal, siendo el resto espigas que son arrancadas completas.

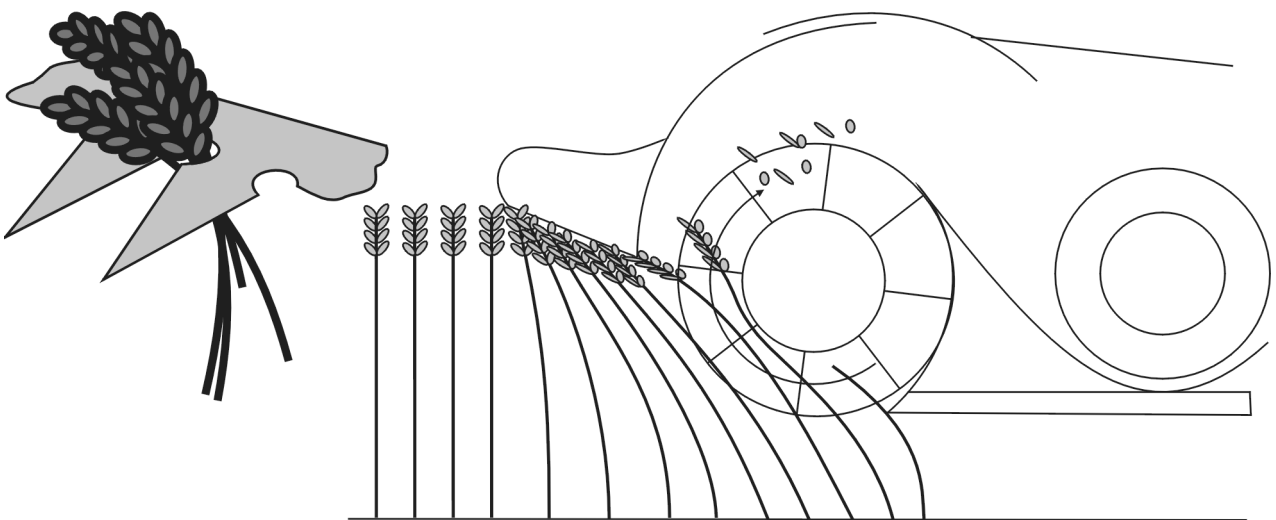


Fig. 43 Esquema de la recolección del cultivo en el cabezal stripper.

### Peines desgranadores

La forma de estas piezas es determinante de la eficiencia de recolección del grano, pero como están sujetos

a desgaste en el rozamiento con el cultivo, deben ser reemplazados cuando se empiezan a desgastar o romper (el ojal tiene 20 mm de diámetro en un peine sin uso). El diseño más difundido trae un peine base de plástico lo suficientemente grueso para que tenga cierta rigidez y una cubierta metálica que es la que se reemplaza periódicamente (Fig. 42). En el extremo externo de esta cubierta metálica, los bordes se encuentran doblados, pudiendo fijarse con los borde doblados hacia arriba, lo que refuerza la recolección de granos, o hacia abajo lo que va apretando el cultivo mientras se carga en el ojal (Shelbourne, 2001).

### 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 desgranan.

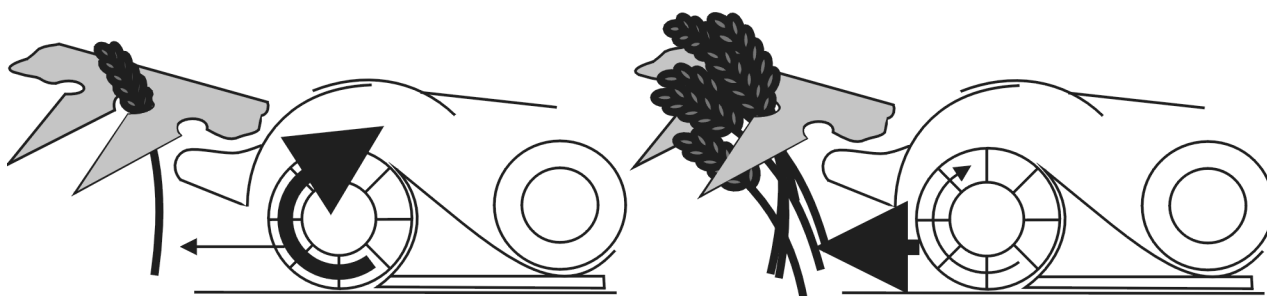


Fig. 44 Efecto de la regulación de la velocidad de giro del rotor.

### 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. 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 (Vázquez & Peiretti, 2012).

Cuando aparecieron los primeros diseños de cabezales stripper, eran de reducido ancho de labor, por lo que en algunos casos se difundió la idea de que lo que se podía ganar en capacidad de trabajo con una mayor velocidad, se perdía con el ancho de trabajo. Sin embargo en la actualidad, los cabezales strippers se fabrican de anchos similares a otros cabezales, hasta más de 40 pies.

## 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.

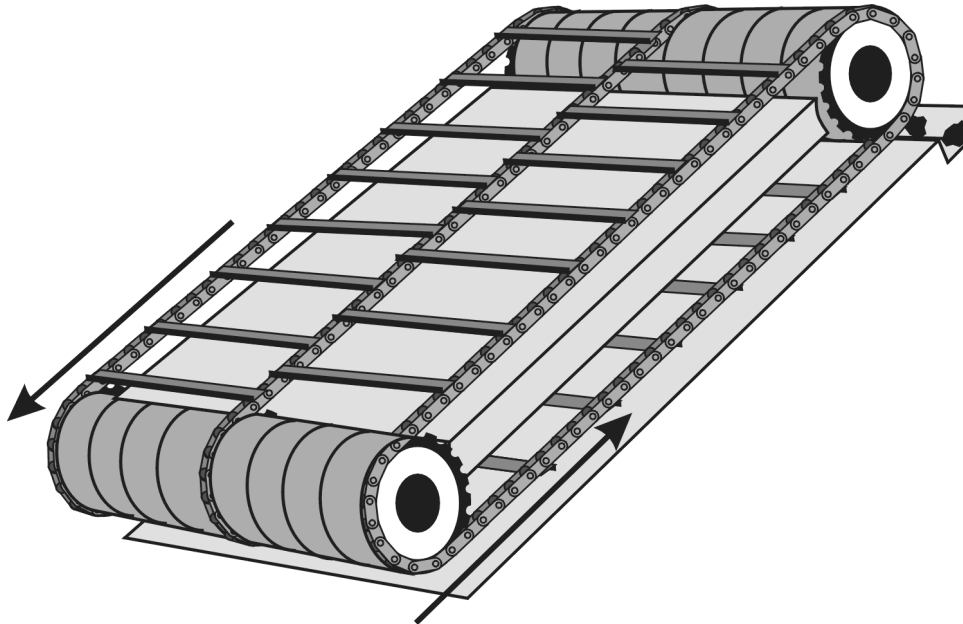


Fig. 45 Acarreador de cadenas con listones y trampa para piedras.

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).

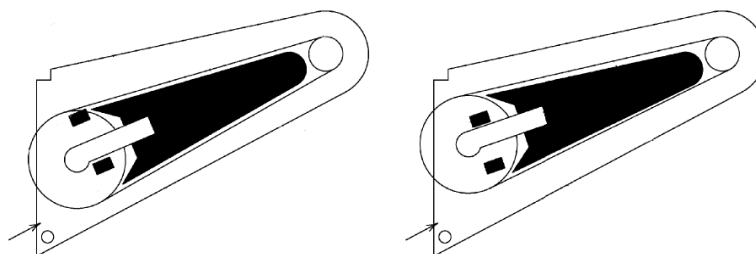


Fig. 46 Acarreador con paso variable en función del índice de alimentación.

### 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.

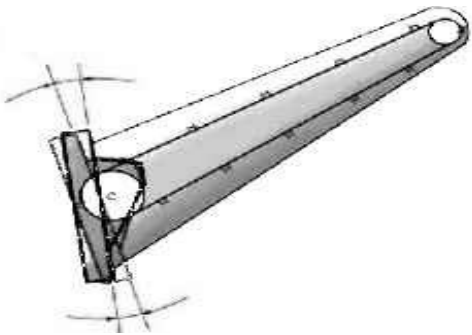


Fig. 47 Variación del ángulo de acople al cabezal.

## 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. El cultivo recolectado pasa entre ambos y el grano se desprende de las estructuras vegetales que lo contienen (vainas, espiguillas, panículas), por impacto y por fricción (Huynh et al 1982).

En las cosechadoras convencionales al pasar el cultivo entre el cilindro y el cóncavo se realiza la trilla y se comienza la separación del grano, proceso que se completa en el sistema de separación posterior. En el sistema axial, 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.

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 pasar de moverse en el sentido del eje, a girar alrededor del mismo hasta completar varias vueltas. El extremo anterior del rotor es de forma cónica lo que provoca que el cultivo se acelere a medida que aumenta el diámetro y presenta unos alabes que facilitan el ingreso del cultivo. 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.

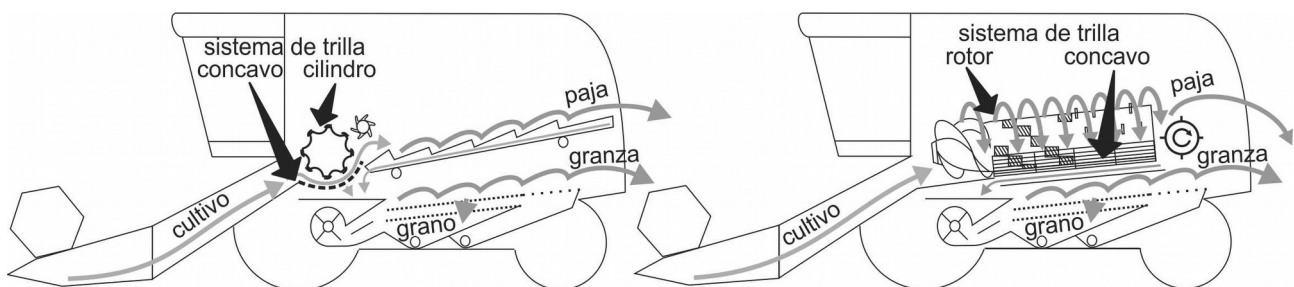


Fig. 48 Cosechadoras con trilla convencional y axial

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.

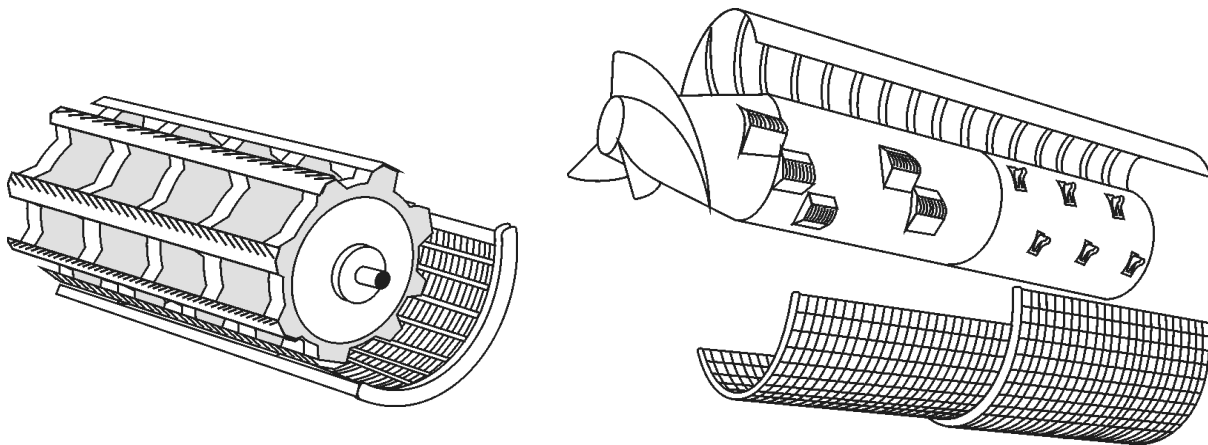


Fig. 49 Sistemas de trilla convencional (tangencial) y axial

En el sistema convencional la paja es expulsada del cilindro de trilla hacia arriba, por lo que cuenta con un cilindro batidor que impulsa 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 el sistema 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 las 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.

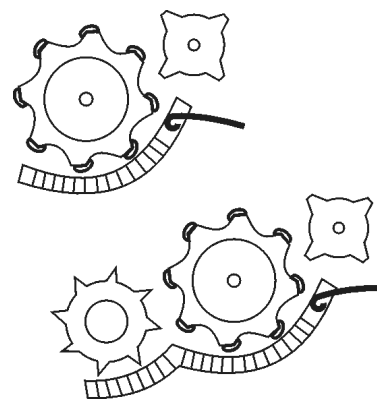


Fig. 50 Cilindro y cóncavo con batidor y peine. Abajo: se suma un cilindro acelerador.

### 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.

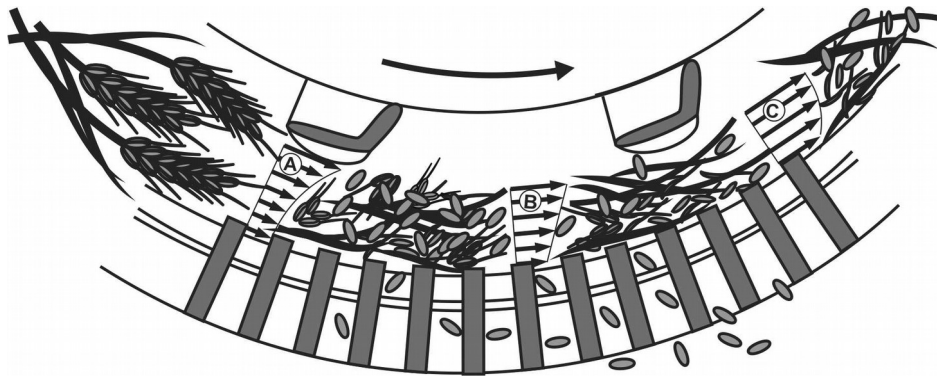


Fig. 51 Se observa el flujo del material recolectado dentro del sistema de trilla, donde el grano se desprende del cultivo y se comienza a separar del mismo. En los puntos A, B y C se distingue las diferentes velocidades a las que se desplaza el material al desplazarse entre el cóncavo fijo y el cilindro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

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.

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 (pérdidas por separación).

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):

- Factores de diseño.
  - Largo del cóncavo
  - Diámetro del cilindro
  - Cantidad y disposición de las barras trilladoras
- Factores operativos.
  - Velocidad del cilindro
  - Separación cilindro/cóncavo.
  - Índice de alimentación.
- 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.

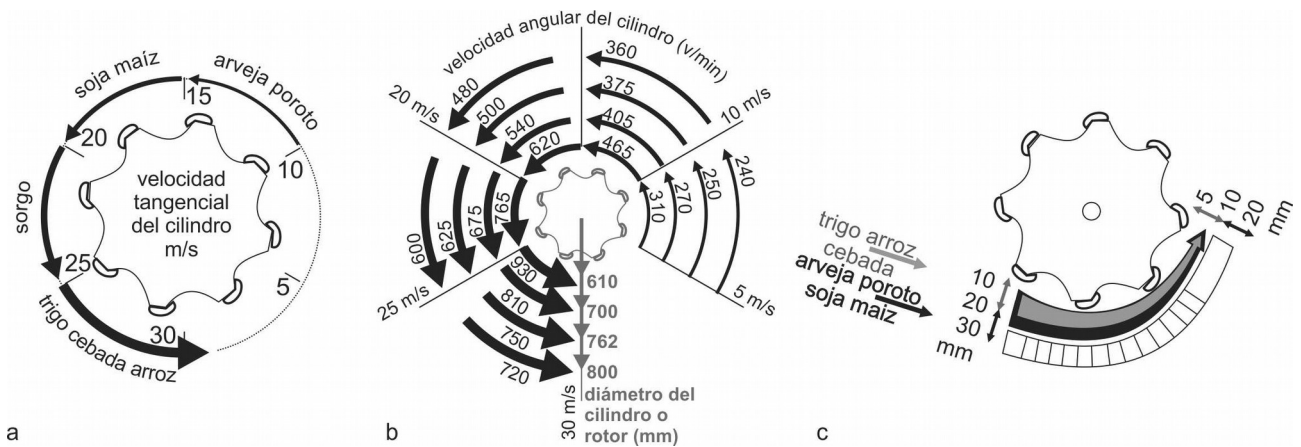


Fig. 52 Regulación de la intensidad de trilla: a) la velocidad tangencial del cilindro o rotor, se debe ajustar al cultivo cosechado y a su condición (la trilla de un cultivo húmedo demanda una mayor velocidad que el mismo cultivo seco). b) La velocidad tangencial (m/s) adecuada para trillar un cultivo 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).

Entre las cosechadoras con cilindro y cóncavo, el cilindro puede ser de barras o de dedos. 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 dejando la paja del cultivo fuera de la cosechadora), pero evitando fragmentar excesivamente la paja para no dificultar la separación y limpieza (Quick, 2002).

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 (Figura 79). El porcentaje de granos quebrados es uno de los factores más importantes en la determinación del precio de comercialización del arroz. Sin embargo es relevante comentar que para algunas variedades, el cilindro de barras o de dientes no presenta diferencias importantes en la calidad del producto obtenido.



## SISTEMA DE SEPARACIÓN

En el sistema de separación se termina de separar la paja del grano y la granza (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 provoca la separación del grano de la paja, que puede ser la fuerza de la gravedad o la fuerza centrífuga:

Separación convencional mediante el uso de sacapajas, donde se aprovecha la fuerza de la gravedad.

Separación centrífuga mediante el uso de uno o más rotores. También se identifican como rotores axiales y/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.

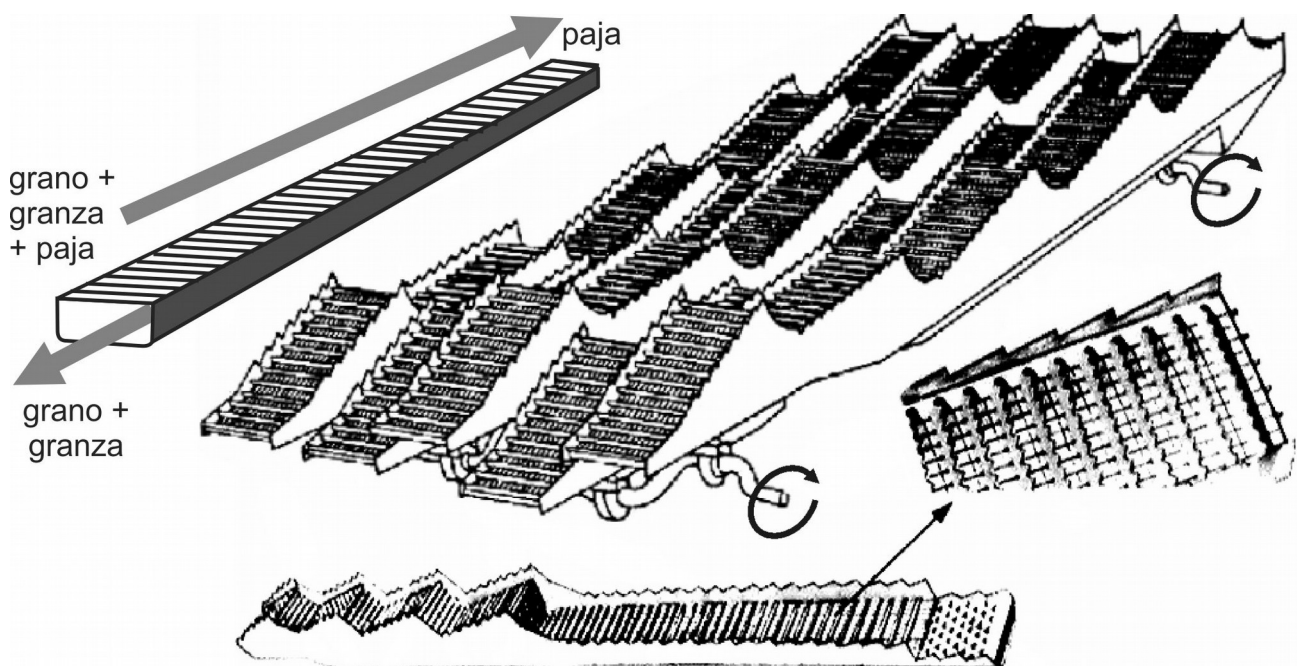


Fig. 53 Sacapajas

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 centrifuga). Esto llevó a que la separación con sacapajas quedó limitada a las cosechadoras de menor potencia (trabajan con menores índices de alimentación).

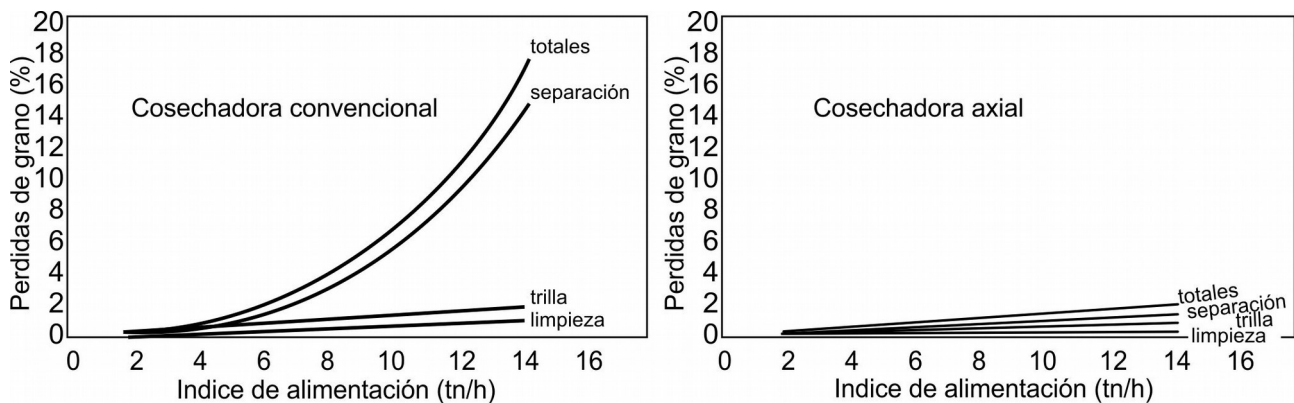


Fig. 54 Diferente desempeño de los sistemas de separación (Wrubleski & Smith, 1979).

### 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

Todos factores que condicionan la capacidad de separación son parámetros de diseño de las cosechadoras con excepción de la velocidad de flujo del material que está condicionada por los otros. Esto implica que la única forma de evitar grandes pérdidas de grano por separación es ajustar el índice de alimentación a la capacidad del sistema de separación.

### 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).

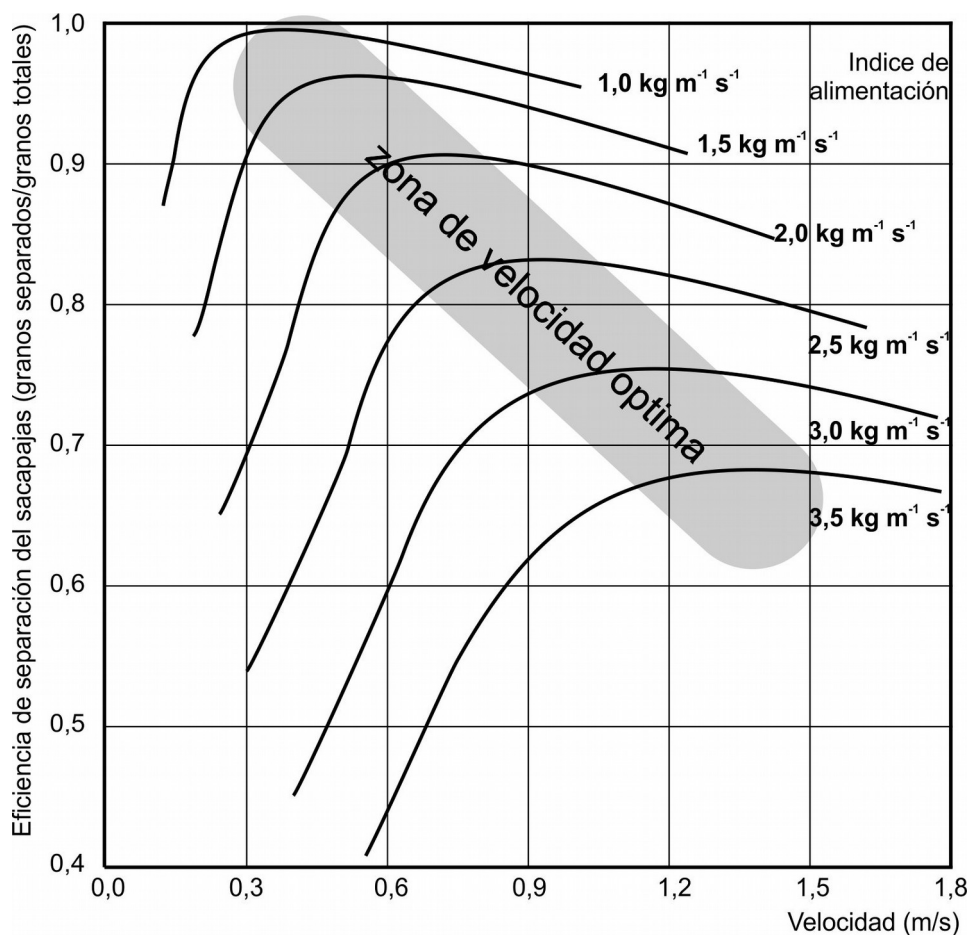


Fig. 55 Eficiencia de separación del sacapajas en función del índice de alimentación y la velocidad.

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 esté varía entre 40 y 60 mm, siendo una característica de diseño de las mismas.

### Ángulos de grillas y saltos.

Hay dos ángulos en el sacapajas 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 sacapajas respecto al nivel de la

cosechadora y (b) el de la pared de cada salto respecto a la superficie del sacapajas restándole 90 grados (ver la figura). Como se observa en la figura, el incremento del Angulo a, reduce la velocidad de avance del material sobre el sacapajas. Esto es evidente ya que si se puede elevar la parte posterior del sacapajas, aumentando el Angulo a, se dificulta el avance de la paja. Por otro lado el incremento del Angulo b también reduce la velocidad de avance del material.

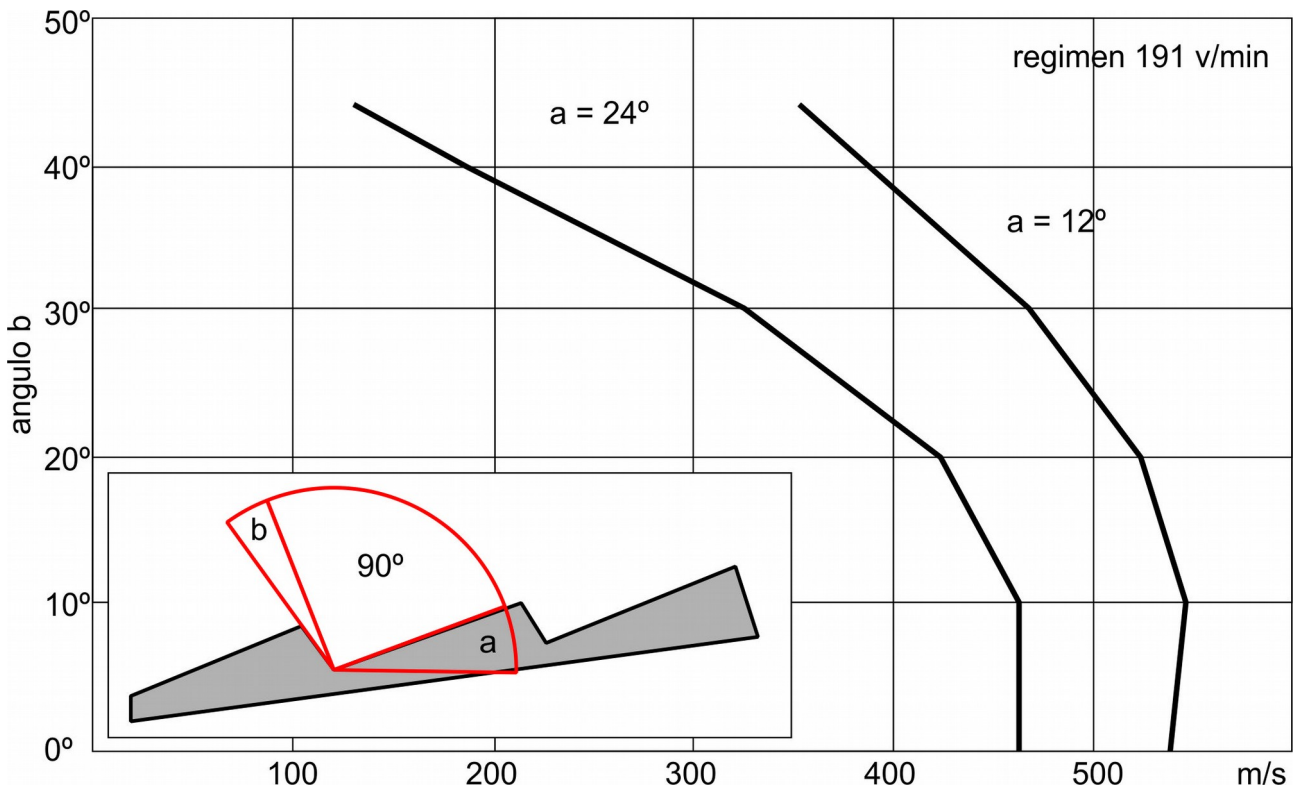


Fig. 56 Relación entre los ángulos de diseño del sacapajas y la velocidad de flujo del material.

### 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

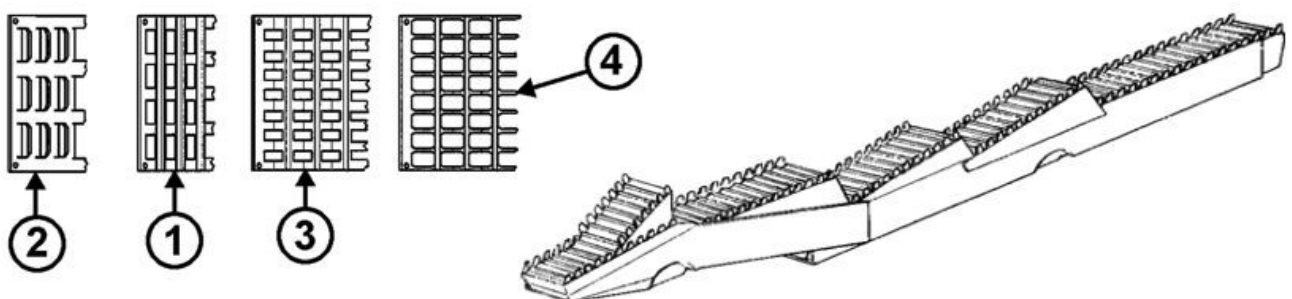
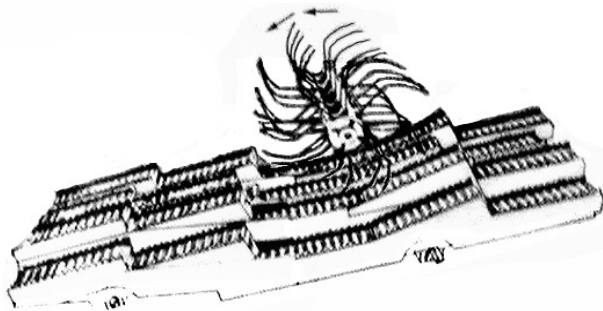


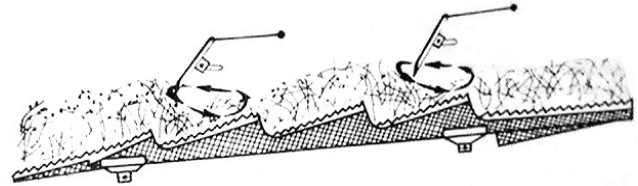
Fig. 57 1. Orificios rectangulares transversales son indicados para cosecha de arroz. 2. Orificios "Lengua de sapo" son adecuados para cualquier tipo de cultivos. 3. Orificios rectangulares longitudinales son adecuados para granos finos como trigo. 4. Orificios rectangulares longitudinales de flujo elevado 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

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

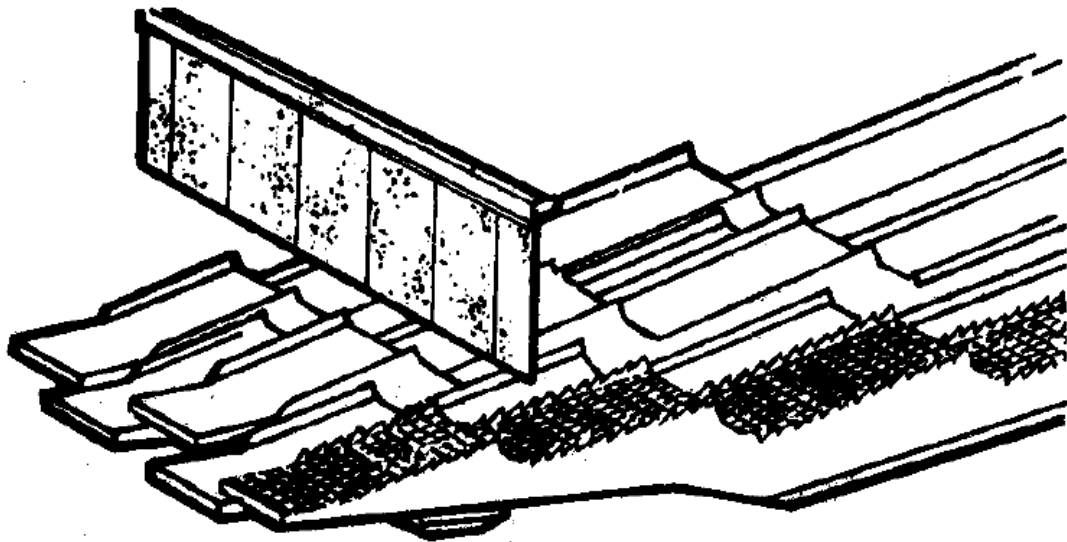


Fig. 58 Lonas a la salida del sistema de trilla e ingreso al sacapaja para forzar a los granos a recorrer este ultimo desde el inicio.

### Separación centrífuga

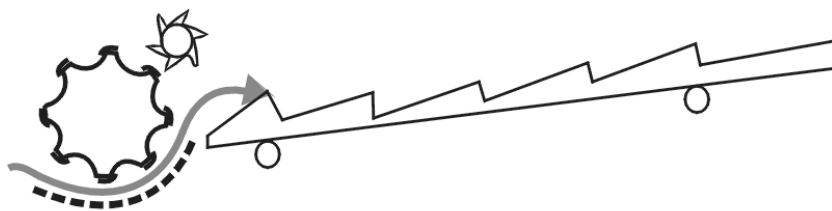
Otra alternativa para mantener la capacidad de separación ante el aumento del índice de alimentación en cosechadoras de mayor capacidad de trabajo, fue reemplazar los sacapajas con rotores que utilizan para separar el grano valores de fuerza centrífuga 50 a 100 veces superiores a la fuerza de la gravedad 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.

Existen diferentes tipos de cosechadoras que utilizan la separación centrífuga en reemplazo del sacapajas:

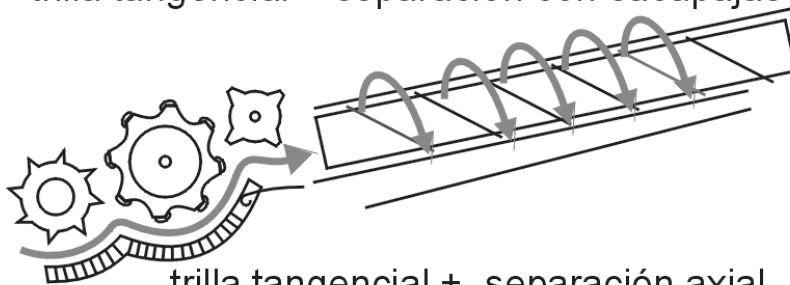
1) Cosechadoras con cilindro y cóncavo de trilla convencionales y dos rotores de separación axiales. El incremento de la capacidad que se logra con la separación centrífuga es acompañado en el sistema de trilla con el agregado de un rotor acelerador que incrementa la capacidad del sistema.

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.

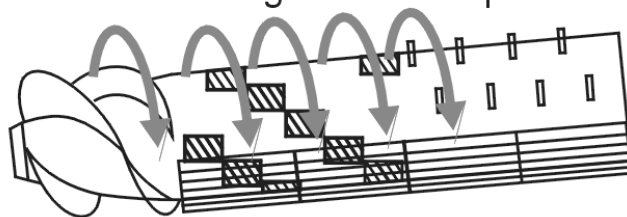
3) Otro tipo de cosechadoras llevan cilindro y cóncavo de trilla tangenciales y sacapajas, pero llevan en el medio rotores de separación centrífuga dispuestos transversales al sentido de avance de la cosechadora.



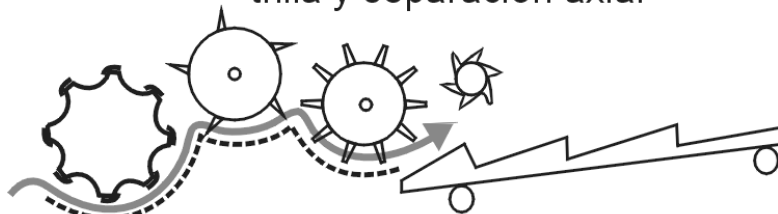
trilla tangencial + separación con sacapajas



trilla tangencial + separación axial



trilla y separación axial



trilla tangencial + separación con rotor centrífugo y sacapajas

## 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. 59 se observan sus partes.

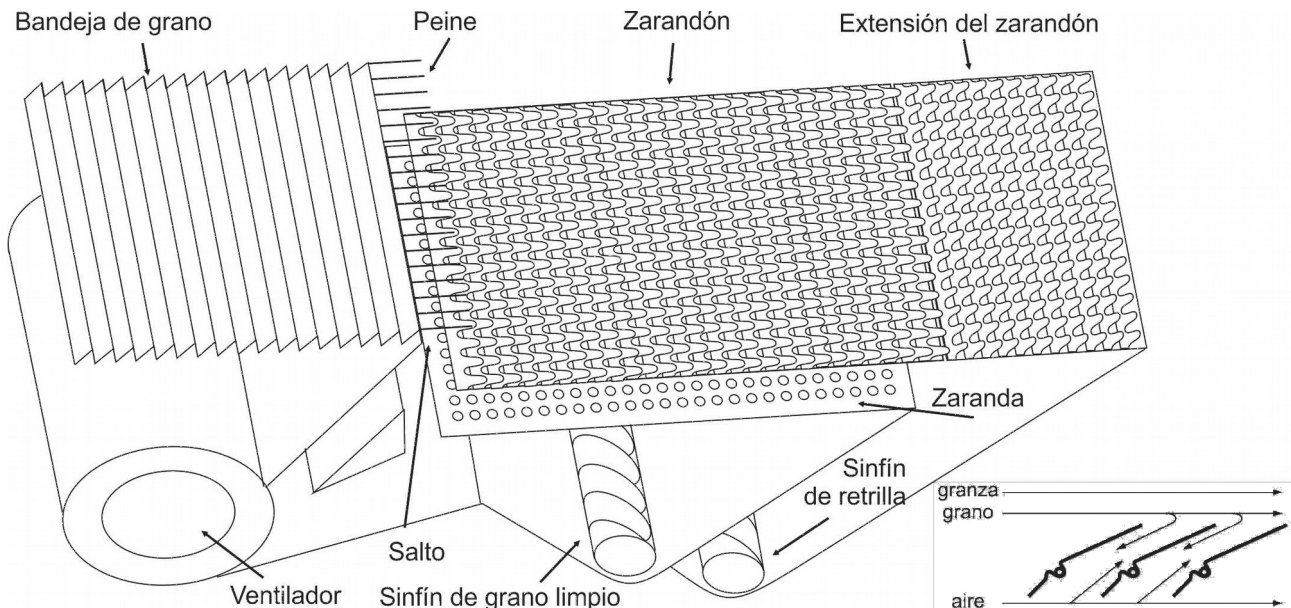


Fig. 59 Esquema del sistema de limpieza.

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 arrastrar la granza y paja corta fuera de la cosechadora, pero no tanto para expulsar el grano, que debe caer sobre la caja de zarandas. Cuando la velocidad del viento no sea suficiente, parte de la granza cae 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, mientras el grano cuele hasta el 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 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. 60 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. 60 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. 60 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 (Fig. 60 B).

Mientras que en las Fig. 60 B y C se observa como el material se va fluidizando al aumentar la velocidad del viento. En las Fig. 60 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. 60 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. 60 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. 60 G).

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

$a$  = amplitud de oscilación     $\beta$  = dirección

$\omega = 2\pi f$                              $\alpha$  = 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:  $a = 17-38 \text{ mm}$ ,  $f = 4,3 - 6 \text{ Hz}$ ,  $\alpha = 0 - 5^\circ$  y  $\beta = 23-33^\circ$ .

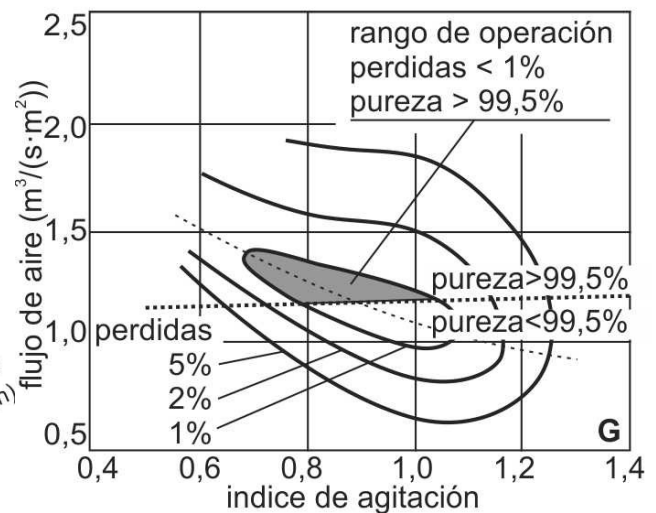
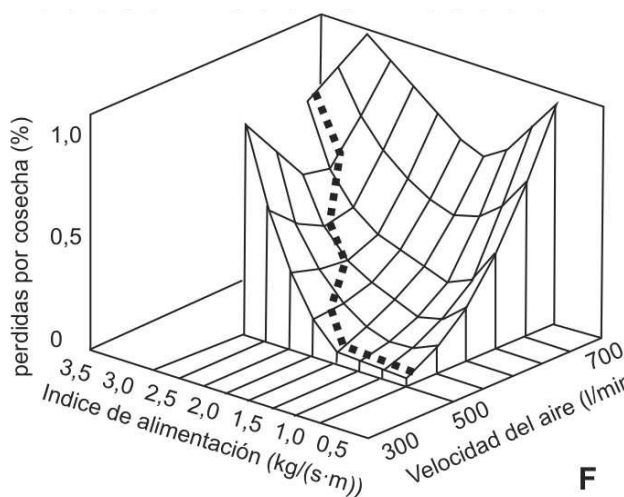
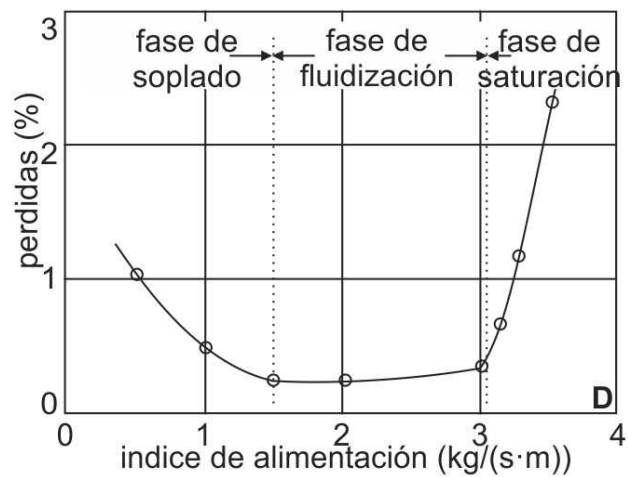
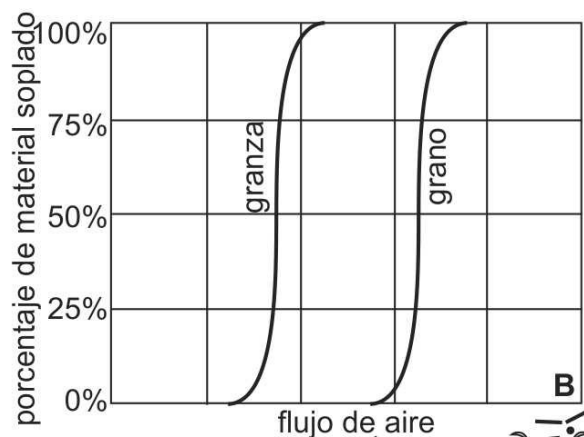
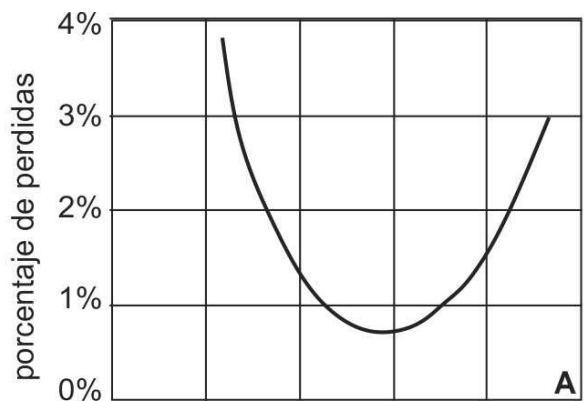
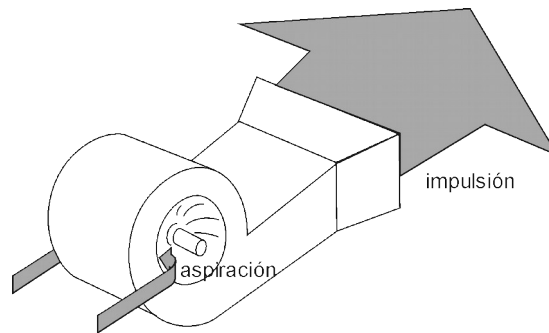


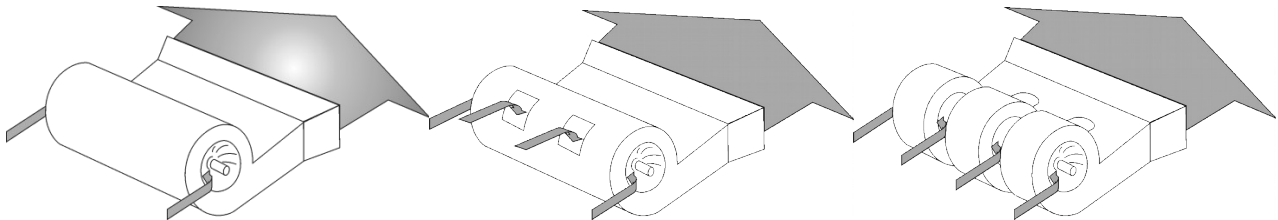
Fig. 60 Fundamentos del proceso de limpieza

## Ventiladores

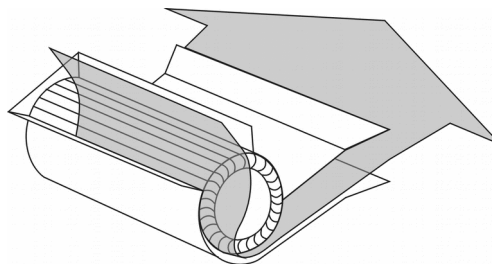
Los ventiladores centrífugos están formados por un rotor o tambor provisto de aletas que gira dentro de una caja cilíndrica. El aire ingresa a la caja por los orificios laterales de aspiración en el sentido del eje del rotor y sale impulsado por las aletas, tangente al eje por el orificio de impulsión.



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 y la salida del aire no se producen en los extremos del eje de rotación, sino tangente a este último. 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.

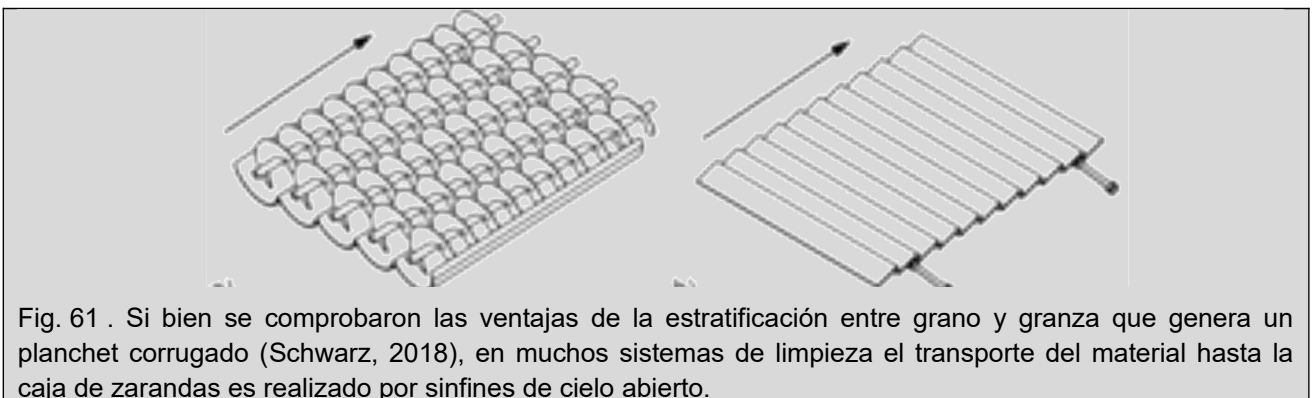


Fig. 61 . Si bien se comprobaron las ventajas de la estratificación entre grano y granza que genera un planchet corrugado (Schwarz, 2018), en muchos sistemas de limpieza el transporte del material hasta la caja de zarandas es realizado por sinfines de cielo abierto.

## SISTEMA DE RETRILLA

En el sistema de trilla siempre queda un porcentaje de grano no trillado que no va a poder colar en las zarandas donde solo pasan los granos sueltos. 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

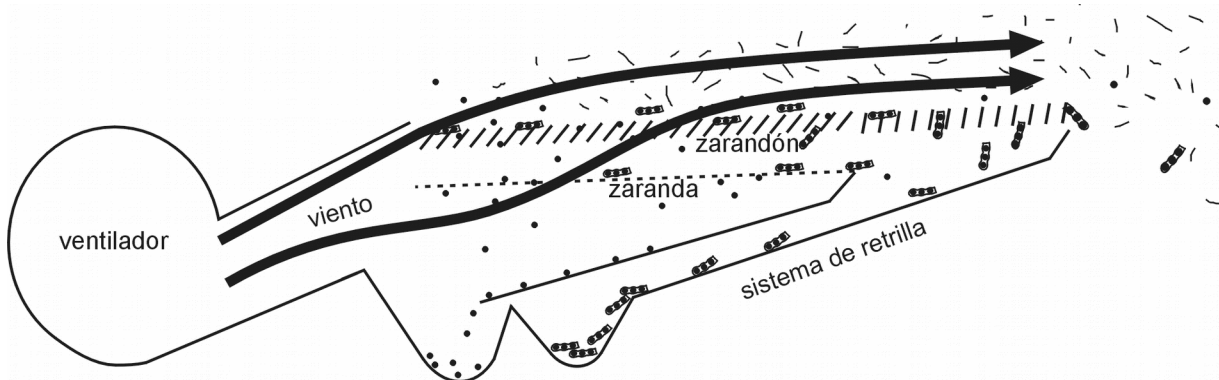


Fig. 62 Esquema del flujo de aire en el sistema de limpieza.

Este material es conducido nuevamente al sistema de trilla o retrillado en un dispositivo independiente. 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.

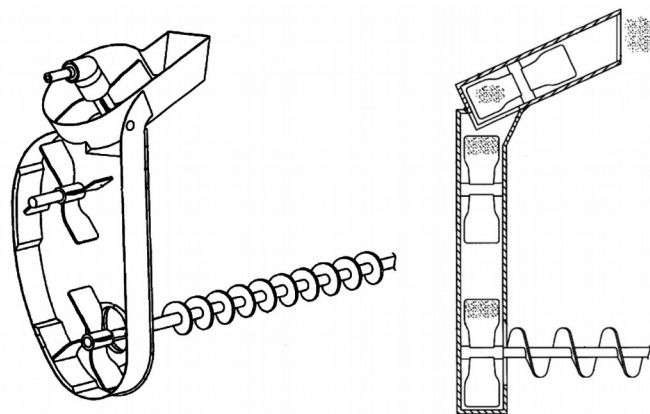


Fig. 63 Retrilla independiente. El material no es enviado al sistema de trilla para no sobrecargarlo y se trilla por impacto en este dispositivo. Las paletas miden el volumen de material (Schmidt & Matousek, 2006).

## Regulación

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, que termina en la retrilla y por detrás de la cosechadora como pérdida. Si bien el sistema de retrilla tiene por función recoger espigas o vainas mal trilladas (que conservan granos), estos son un pequeño porcentaje del material que ingresa a retrilla, usualmente 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.

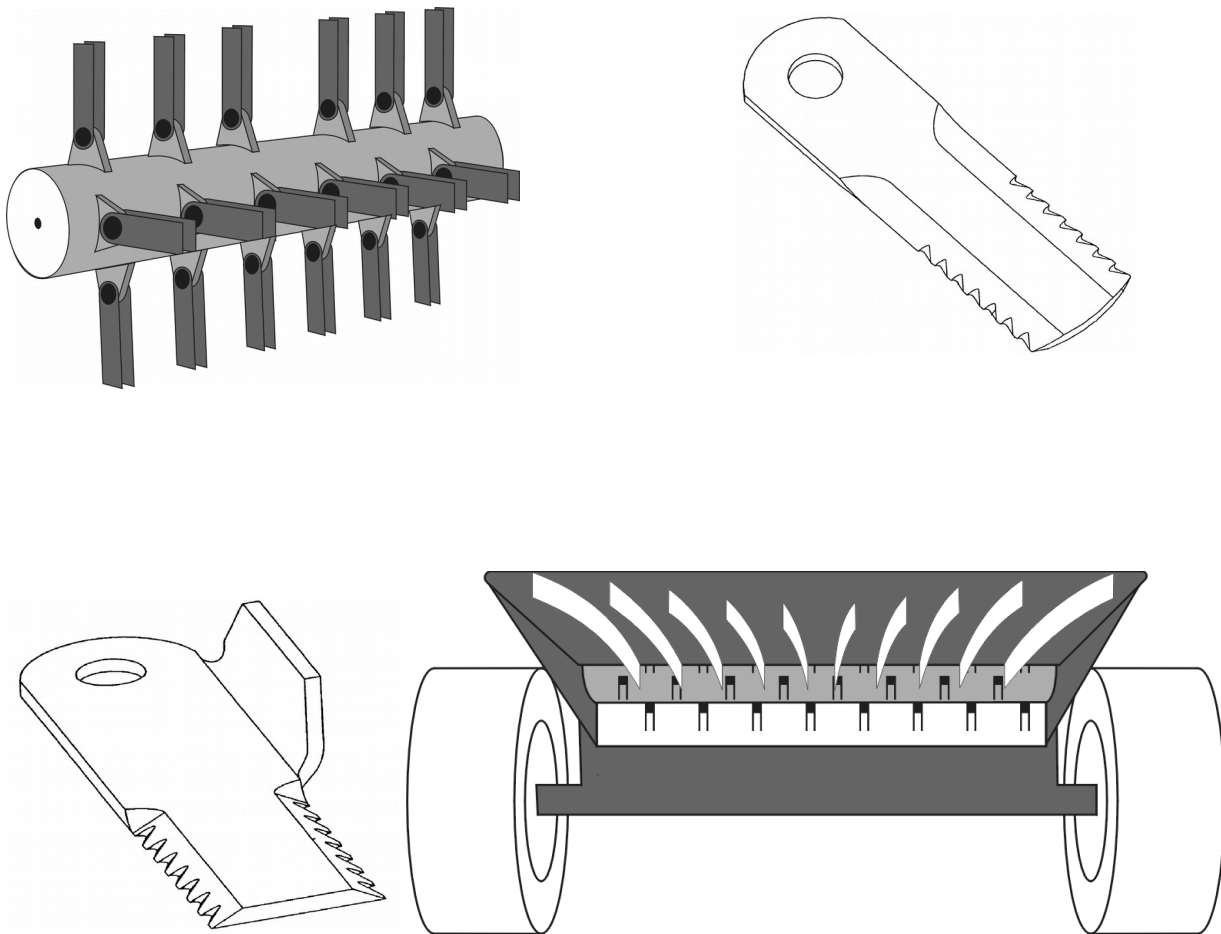


Fig. 64 vista posterior de un cilindro picador y cubierta con guías para distribuir los residuos de cosecha.

### Picador con desparramador centrifugo

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.

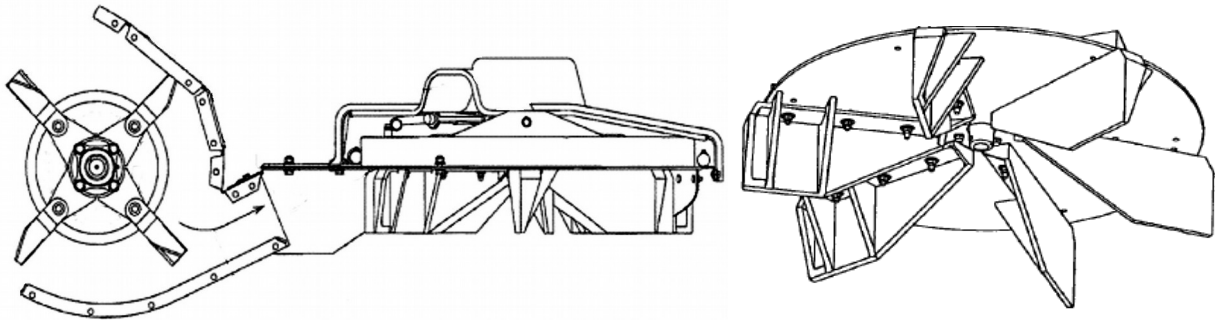


Fig. 65 vista lateral de un cilindro picador con un desparramador centrífugo para distribuir los residuos de cosecha a mayor distancia (US Pat. 7331855).

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

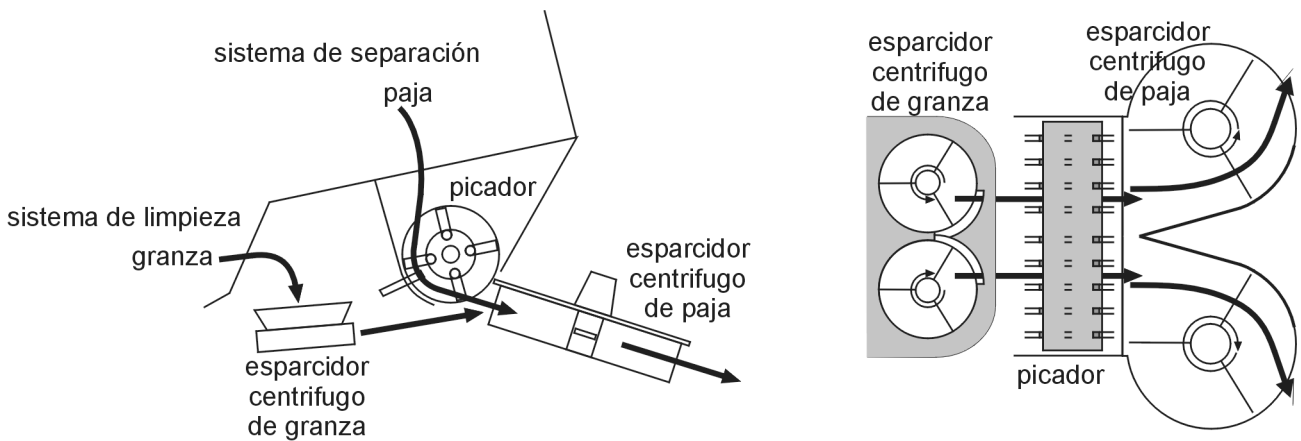
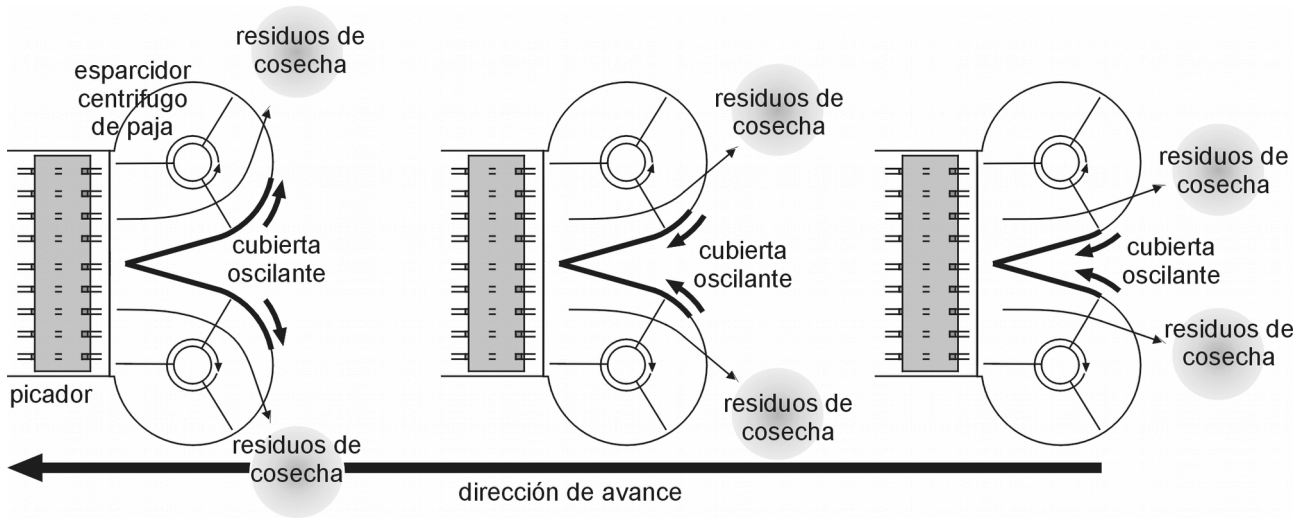


Fig. 66 Vista lateral y superior. (adaptado de US Pat. 6663485)

### Distribución de los residuos de cosecha.

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...



## CONTROL DE SEMILLAS DE MALEZAS (DESTRUCTORES DE SEMILLAS)

Con el incremento en la aparición de malezas resistentes a los herbicidas, se han desarrollado distintas alternativas para controlar sus semillas, a la salida del sistema de limpieza de las cosechadoras, reduciendo la multiplicación del banco de semillas del suelo. Estos dispositivos son similares a molinillos que van montados en la parte posterior de la cosechadora, a la salida del sistema de limpieza. Constan de rotores que aceleran a gran velocidad el flujo de granza y semillas contra grillas o rejillas fijas denominadas estatores, dañando las semillas por impacto, corte, compresión y/o abrasión para reducir o eliminar su capacidad de germinar. Según el fabricante los rotores pueden ser dos o cuatro, dispuestos de forma horizontal o vertical a ambos lados de la cosechadora y en algún diseño solo cuentan con rotores, sin estatores (Colsmann, 2020).

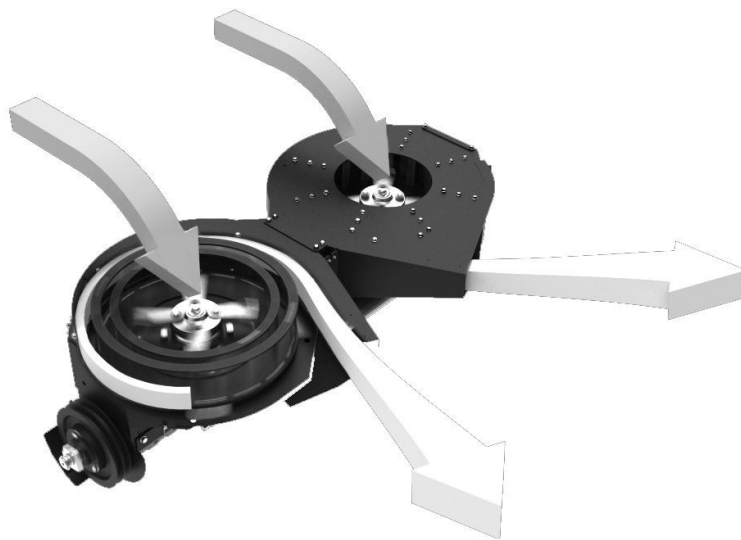


Fig. 67 Rotores dispuestos de forma horizontal a la izquierda.

Las semillas rebotan varias veces entre los rotores y estatores antes de ser expulsadas del dispositivo (Fig. 68 izquierda). Los estatores pueden estar integrados por planchuelas planas o con forma de U y otros con forma de rejilla (Fig. 68 derecha). Los estatores de los dispositivos izquierdo y derecho, se intercambian luego de una campaña para que trabaje la cara no gastada.

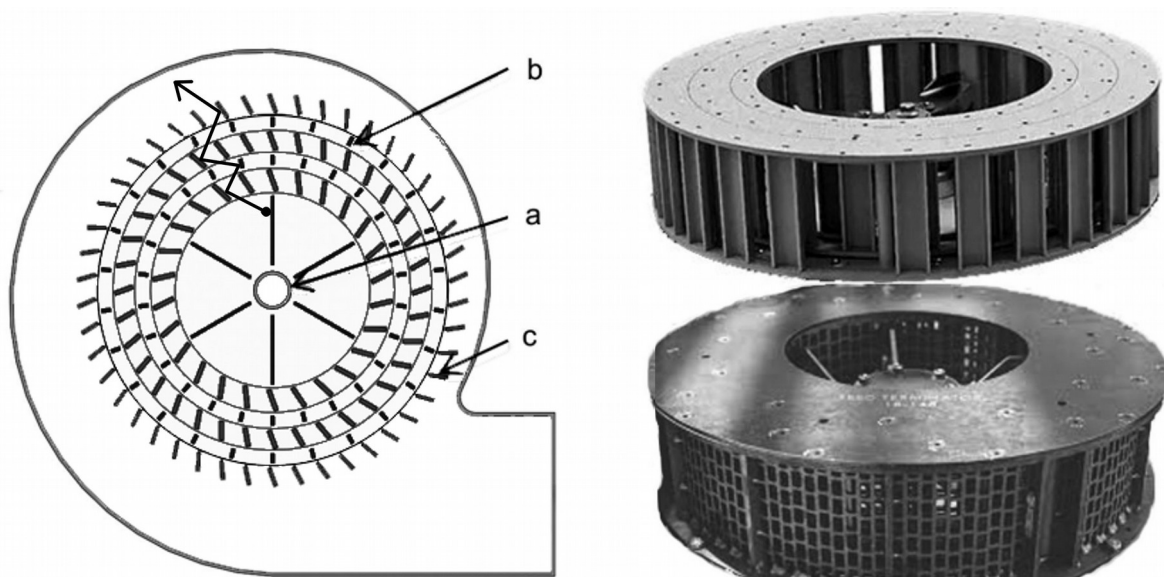


Fig. 68 A la izquierda esquema en corte del sistema con la ubicación del (a) rotor interior (b) rotores exteriores (c) estatores. A la derecha distintos diseños de estatores.

## Eficiencia

La eficiencia de estos dispositivos se evalúa por la reducción en la emergencia de malezas a partir de las semillas tratadas. Esta eficiencia depende de la velocidad y número de impactos a que son sometidas las semillas, del contenido de humedad de estas últimas y del índice de alimentación de granza. Mientras que la cantidad de impactos se logra al disponer varios estatores, la velocidad se ajusta con el régimen de giro del dispositivo. La humedad de cosecha establecida por las normas de comercialización del grano es compatible con una elevada reducción de la viabilidad de las semillas de malezas.

El uso de esta tecnología depende de variables de la cosechadora y de las malezas. Su uso debe limitarse a cabezales que recolectan todo el cultivo como los de molinete y barra de corte (ya sea con sinfín o lonas). Para el caso de la cosecha de trigo se presenta se deberá tomar la decisión de a que altura cortar el cultivo, debido a que al cortarlo por debajo de las espigas para reducir el índice de alimentación y las pérdidas por cola, se pueden estar dejando semillas de malezas debajo de la altura de corte. Por otra parte, algunas características de las malezas como si son de floración determinada o indeterminada o si son dehiscentes o indehiscentes, va a condicionar la posibilidad de que las semillas sean capturadas por la cosechadora (Oliva & Tourn, 2019).

Las semillas tienen formas, tamaños y estructuras diferentes y, por lo tanto, requieren cantidades de energía totalmente diferentes para controlarlas con un molino". En la medida que las semillas sean más fibrosas y livianas, son más difíciles de controlar y mientras que hay características que dependen de la especie, el peso de las semillas de una misma especie puede variar de un lote a otro. Cuanto más liviana sea una semilla, más energía será necesaria para controlarla.

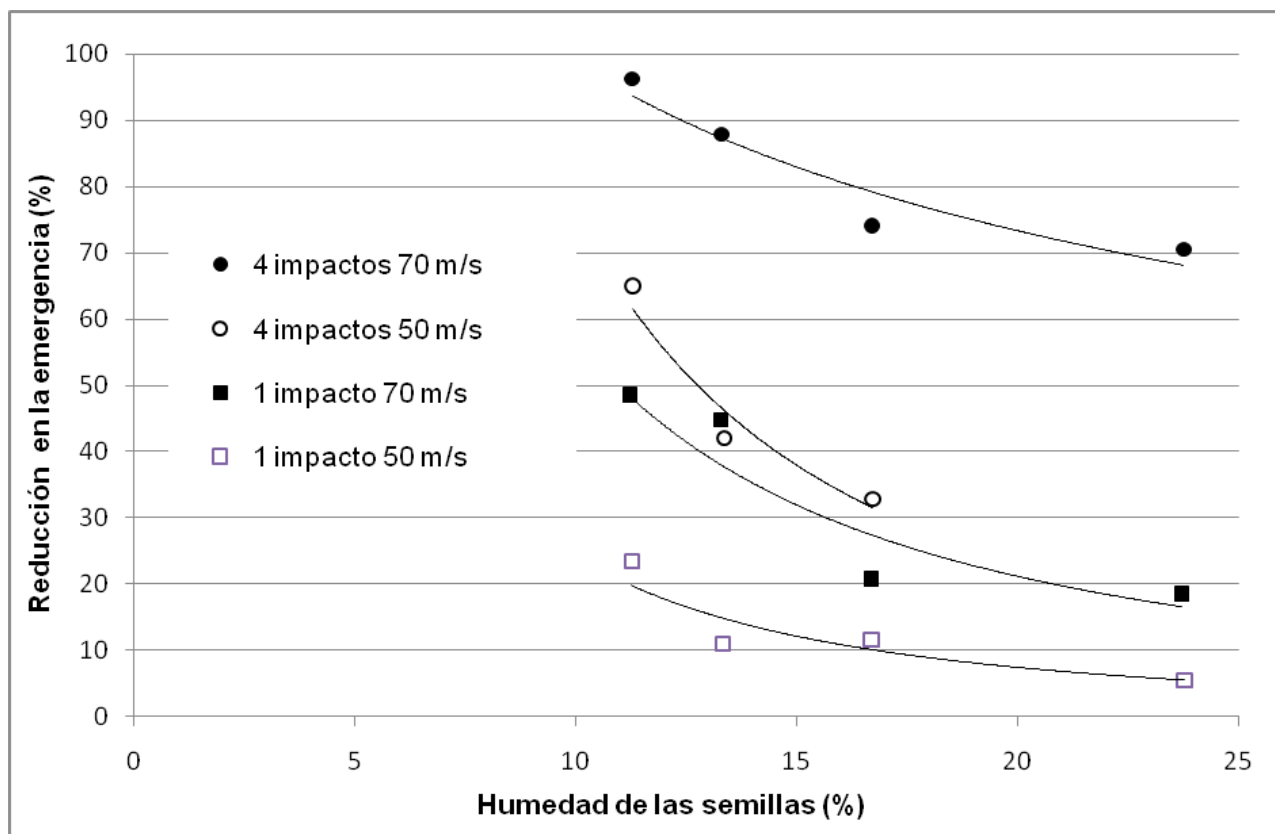


Fig. 69 Reducción en la viabilidad de las semillas en función del número de impactos, la velocidad y la humedad (Berry, 2014).



### **Condicionantes de su implementación**

El uso de destructores de semillas tiene una demanda de potencia que puede llegar a los 100 cv, reduciendo entre un 12 a un 20% la capacidad operativa de las cosechadoras, por lo que se suele recurrir a incrementar la potencia del motor mediante la reprogramación de la unidad de control electrónico (ECU) o un chip de potencia. El consumo de combustible con los destructores de semilla pasa de 2,3 a 3,3 litros/ton de trigo cosechada (Kondinin Group, 2020).

Estos dispositivos suelen incluir una trampa para piedras y/o una bandeja magnética para retener partes metálicas que pudieran haber ingresado a la cosechadora. Es importante que estos dispositivos cuente con una alternativa sencilla para expulsar la granza directamente cuando se quiera medir pérdidas por cosecha o bien cuando se coseche un cultivo con tejido verde que se puede atorar.

### **Otras tecnologías para control de semillas de malezas**

Se han desarrollado sistemas para establecimientos que trabajan con tráfico controlado, que en lugar de dañar las semillas de malezas, depositan el flujo de granza sobre las huellas de la cosechadora, donde a causa del tráfico y la compactación, se va a ver reducida la capacidad de prosperar de las malezas.

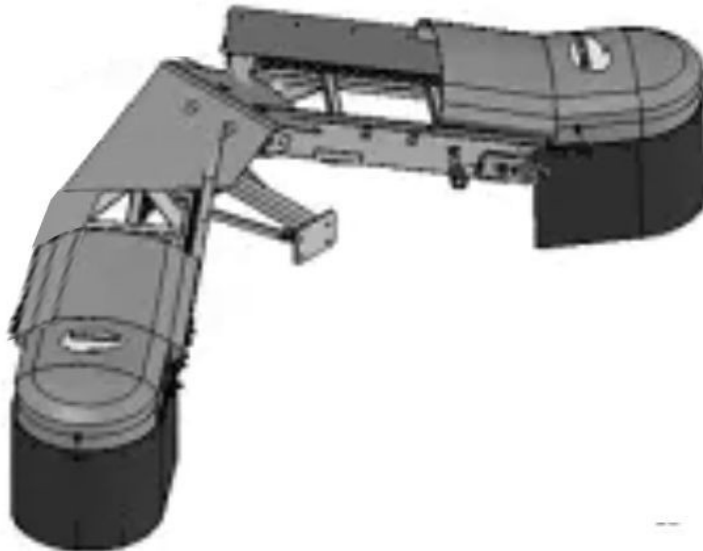


Fig. 70 Divisor de granza EMAR chaff deck (<https://chaffdeck.com.au/>)

## SENSORES DE PERDIDAS DE GRANOS

Los sensores de pérdidas de granos son placas con la capacidad de generar una señal eléctrica proporcional a la cantidad de impactos de los granos sobre los mismos. De este modo cuando los sensores se ubican a la salida de la cosechadora, pueden realizar una estimación indirecta del nivel de pérdidas de granos. En algunos casos están recubiertos por una rejilla para evitar que se acumule material no grano que evite el impacto de los granos sobre el sensor.



Fig. 71 Sensores de pérdidas de granos

En general estos sensores no permiten estimar un valor preciso de pérdidas (Fig. 72 ), sino que alertan al operador si las pérdidas aumentan o disminuyen.

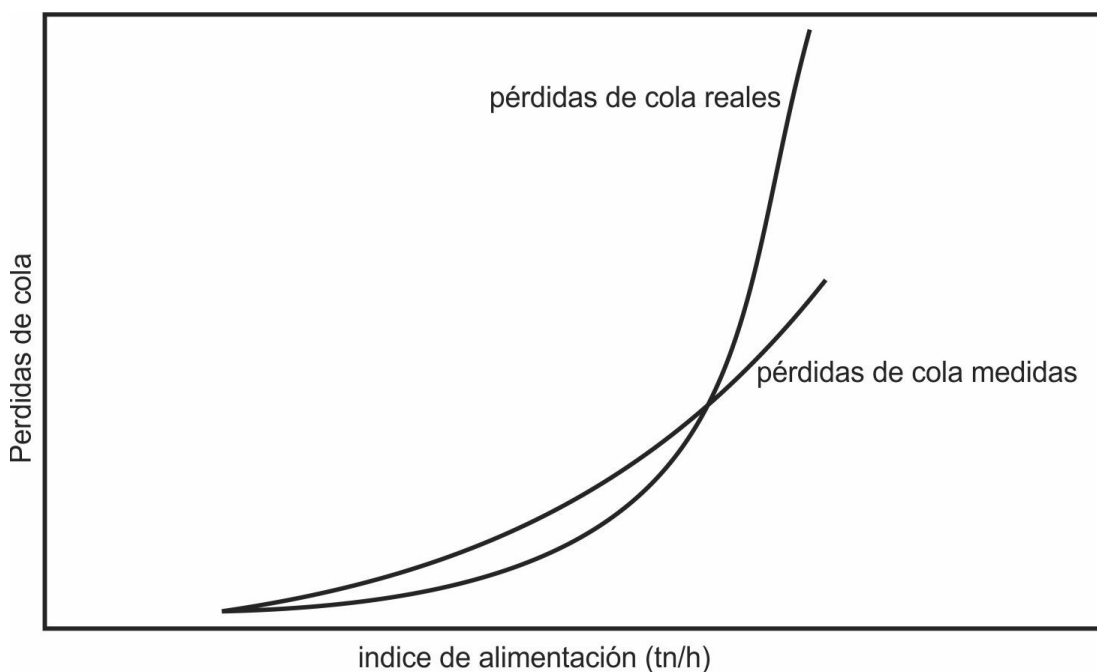


Fig. 72 Variación de las pérdidas de grano en función del índice de alimentación, medido de forma directa y mediante sensores de pérdidas.

Los sensores generalmente se encuentran a la salida del sistema de limpieza, uno a la izquierda y otro a la derecha, y otros dos a la salida de sistema de separación, aunque en el caso de las cosechadoras axiales puede encontrarse uno solo. Por su ubicación solo dan una estimación de las pérdidas por la cola de la cosechadora, que aunque para cultivos como soja, maíz o girasol suelen representar menos de la mitad de

las pérdidas por cosecha., con la información de los sensores se sostienen estas pérdidas en los porcentajes esperados. La información relevada por sensores en los sistemas de separación y limpieza, más el promedio de los mismos, se presenta en una consola en la cabina de la cosechadora.

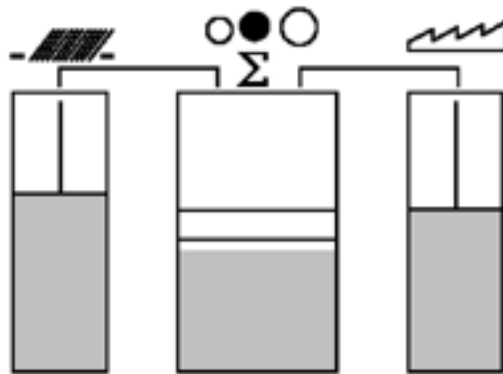


Fig. 73 Presentación de la información relevada por los sensores. A izquierda y derecha: pérdidas de limpieza, pérdidas de separación y en el centro el promedio de ambas.

## Ajustes

Al menos una vez al año se debe chequear que todos los sensores funcionen generando pequeños impactos en cada placa con un lápiz, mientras otra persona comprueba que se registre la señal en la cabina. Además, cada vez que se cambia de cultivo cosechado, se debe ingresar el tipo de grano en la consola del monitor.



Fig. 74 Diferentes tamaños de grano generan diferentes intensidades de señal en los sensores, por lo que se debe indicar el tipo de grano a cosechar. Por ejemplo en la figura se selecciona el punto grande para maíz y porotos, el punto mediano para trigo y cebada y el punto pequeño para trébol, alfalfa o colza.

También deberían ser calibrados cuando cambian las condiciones de campo y del cultivo. La calibración se realiza fundamentalmente para diferenciar distintos tipos de grano del material no grano (paja, granza, malezas), Para llevarla a cabo se miden las pérdidas de cola en un sector representativo del lote, realizando los ajustes en la cosechadora para que el nivel de pérdidas medido sea razonable y se ajusta el monitor de pérdidas al nivel de pérdidas medido en el campo.

Un aspecto que debe ser controlado diariamente es que no se acumulen restos de cosecha sobre los sensores, que puedan dificultar los impactos de los granos.

Los monitores de pérdidas suelen tener un ajuste de sensibilidad para suavizar las oscilaciones bruscas en la pantalla y enfocarse en la tendencia del nivel de pérdidas.

Las investigaciones sobre la relación estadística entre la medición de la pérdida de grano en la cosechadora con sensores de pérdida con bandejas recolectoras mostraron que se necesitan al menos cuatro bandejas para llegar a correlaciones estadísticamente más confiables. Se recomienda el uso diario de bandejas recolectoras de residuos para calibrar las lecturas del sensor de la cosechadora (Baumgarten 2020).

## CONTROL AUTOMÁTICO DEL ÍNDICE DE ALIMENTACIÓN

El índice de alimentación de una cosechadora depende de:

- El rendimiento del cultivo,
- la velocidad de avance,
- el ancho y altura de corte.

Tradicionalmente la cosechadora se regula para minimizar las pérdidas de grano a un determinado índice de alimentación. Luego, para sostener ese nivel de pérdidas, se cosecha manteniendo el índice de alimentación mediante el ajuste de la velocidad de acuerdo a las fluctuaciones de rendimiento del cultivo en el lote. Los sistemas automáticos de regulación de flujo liberan al operador de la cosechadora de sostener un índice de alimentación ajustando la velocidad a lo largo de la jornada de cosecha, pero además realizan los ajustes en menor tiempo y en situaciones en las que el operador no podría detectar las variaciones de la condición del cultivo. Los fabricantes de cosechadoras han desarrollado sus diferentes sistemas: HarvestSmart (John Deere), Cruise Pilot (Claas), Intellicruise (New Holland), Feed Rate Control (CASE IH) Constant Flow (AGCO).

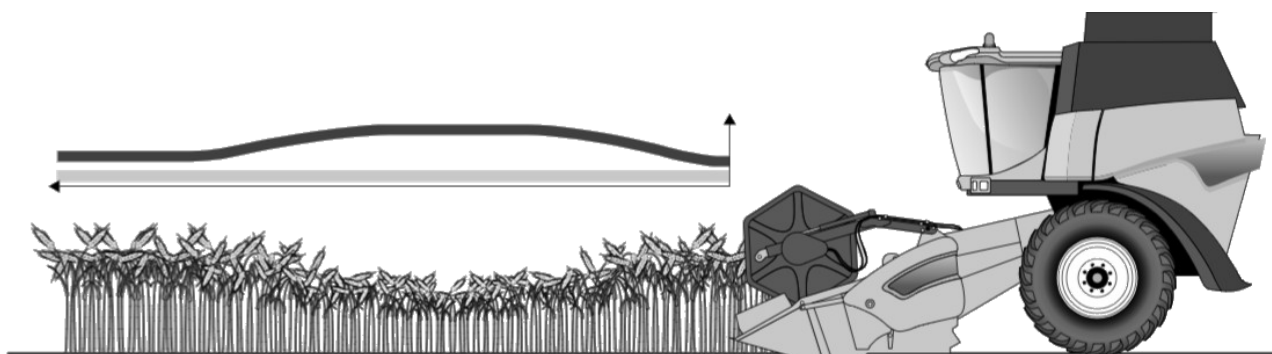


Fig. 75 La línea clara indica el índice de alimentación que se mantiene constante a pesar de las variaciones en el desarrollo del cultivo, debido al ajuste de la velocidad de avance que se ilustra con la línea oscura

Los sistemas automáticos de regulación del índice de alimentación recurren a distintas fuentes de información para controlar el flujo del cultivo o índice de alimentación,

1. Control de carga del motor y/o sistema de trilla: las variaciones en el índice de alimentación condicionan la potencia demandada por el sistema de trilla al motor, por lo que ajustar la velocidad de avance para mantener un porcentaje de carga del motor es la forma más sencilla y difundida de sostener un índice de alimentación constante. El tiempo que tarda en llegar el cultivo desde que es recolectado en el cabezal hasta el sistema de trilla, provoca un retardo en la respuesta del sistema de control.
2. Sensores de pérdidas de grano: al integrar la información de estos sensores con la carga del motor, permite detectar cuando el índice de alimentación fijado para reducir las pérdidas de granos ya no es el adecuado, generalmente por cambios en las condiciones del cultivo, y de este modo reducir la velocidad hasta que bajen las pérdidas de granos.
3. Sensor de flujo de material en el acarreador: algunas compañías añaden este sensor que mejora la velocidad de respuesta del sistema, ya que detecta las variaciones del índice de alimentación antes de llegar al sistema de trilla.
4. Están en desarrollo sistemas que predicen el volumen del cultivo delante de la cosechadora, integrando la información de cámaras con visión estereoscópica e imágenes satelitales. La

comparación de la estimación de los sensores predictivos con el flujo que registran los sensores internos de la cosechadora, permite que el sistema realice un autoaprendizaje para las condiciones de cada cultivo (Münch, 2019).



Fig. 76 El uso de sensores de flujo en el acarreador permite ajustar el tiempo de respuesta del sistema.

En general estos sistemas de control automático presentan modos de operación alternativos según los objetivos del operador. De este modo se puede seleccionar que la prioridad sea:

1. mantener un reducido nivel de pérdidas de grano
2. trabajar con una determinada carga del motor para maximizar el uso de la cosechadora independientemente de las lecturas de los sensores de pérdidas.

Para operar estos sistemas, además se deben ajustar parámetros operativos en la consola de la cosechadora como, la velocidad máxima admitida (generalmente se fija en unos dos kilómetros por hora por arriba de la velocidad de trabajo habitual), la sensibilidad o velocidad de respuesta, el porcentaje de carga del motor con el que se desea trabajar.

En general los fabricantes diseñan estos sistemas para que el control automático pase a control manual en cuanto se accionan los frenos o la palanca del acelerador. Durante la descarga de grano el sistema sigue operativo pero los ajustes de velocidad para sostener el índice de alimentación se realizan más lentamente. Cuando el sistema trabaja con mucho material no grano puede dificultarse el funcionamiento de los sensores de grano, pudiendo trabajar el regulador de flujo sosteniendo el índice de alimentación sin considerar las lecturas de estos sensores (Deere, 2008).

En un ensayo en el que se comparó los sistemas de control automático de flujo con el control manual realizado por un conductor experimentado, las diferencias en el índice de alimentación y la velocidad de cosechadoras fueron mínimas y no significativas, pero con el sistema automático el operador queda liberado de controlar la velocidad para controlar otras regulaciones (Taylor et al., 2005). De todos modos con el control automático cualquier operador puede lograr el desempeño del más experimentado.

El incremento sostenido del tamaño de las cosechadoras durante décadas, no pareciera sostenible a causa de las dificultades que se encuentran para el desplazamiento por caminos rurales y de compactación de suelos, por lo que es esperable que el incremento en la capacidad de trabajo se sostenga mediante este tipo de tecnologías de automatización (De Baerdemaeker & Saeys, 2013).

## SENSORES DE PRESIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA

Dentro del sistema de limpieza se debe lograr una óptima regulación del ventilador. Un caudal de viento insuficiente provocará que se acumule granza sobre la caja de zarandas, obstaculizando el pasaje de los granos a través de la misma, pudiendo terminar perdiéndose fuera de la cosechadora. Además parte de la granza que se acumula en la caja de zarandas llegará a la tolva disminuyendo la limpieza del grano. Por el contrario, un caudal de viento excesivo terminará expulsando parte de los granos fuera de la cosechadora junto con la granza. El caudal de viento óptimo aumenta junto al incrementarse el índice de alimentación, por lo que tradicionalmente se cosecha con un índice de alimentación constante para el que se ajustó el caudal de viento que minimiza las pérdidas de granos.

En caso de variar el índice de alimentación y que el caudal de viento no resultara el adecuado, se producirá un aumento de las pérdidas de grano que va a ser registrado por los sensores de pérdidas del sistema de limpieza, sin diferenciar si este incremento se produce por falta o exceso de caudal de aire (Aesaert et al., 2020). Para detectar estos desajustes antes de que aumenten las pérdidas de granos, se han desarrollado sensores de presión de aire que van colocados arriba y abajo de la caja de zarandas. Cuando el caudal de aire no es suficiente para expulsar toda la granza, el sensor permite detectar un incremento de la presión del aire debajo de las zarandas respecto a registrada arriba de las mismas. Contrariamente, cuando se registra que la diferencia de presión entre la parte superior e inferior de las zarandas tiende a igualarse, indica que el caudal de aire es excesivo y va a terminar expulsando granos fuera de la cosechadora (Craessaerts et al., 2010). De este modo cuando se detecta que las lecturas de presión se apartan del rango óptimo, permite que se realicen los ajustes en el sistema de limpieza antes de que comiencen a aumentar las pérdidas de grano.

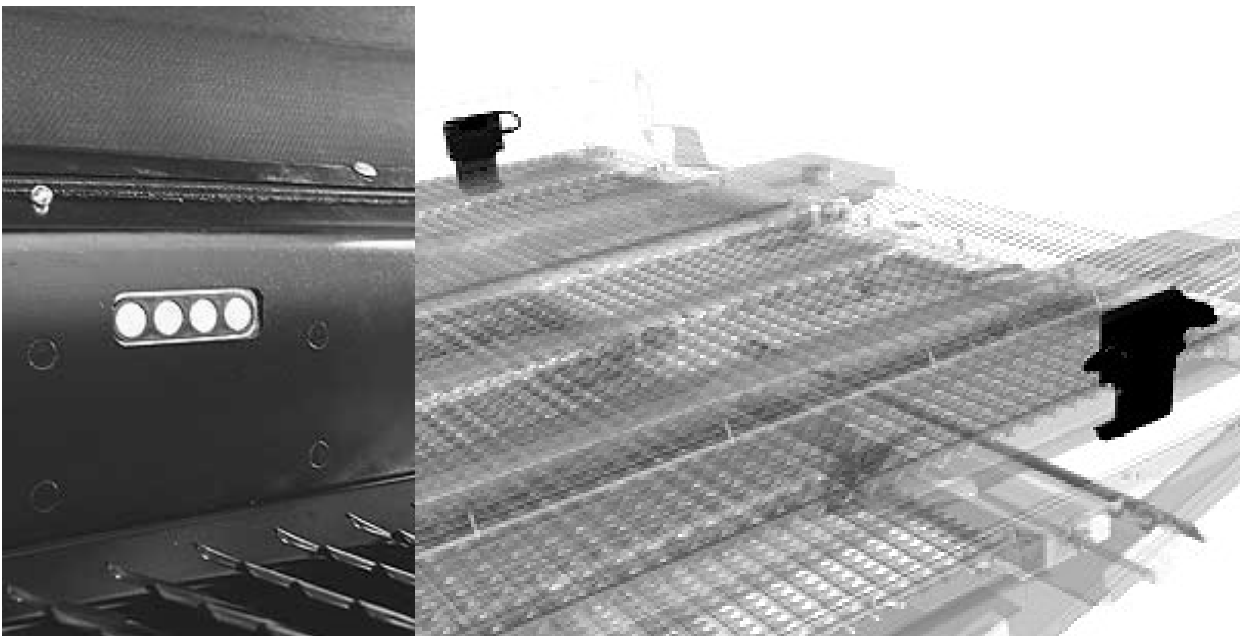


Fig. 77 Los sensores de presión del sistema de limpieza permiten medir con mucha precisión (0.01 mbar) la diferencia de presión de aire entre la parte superior e inferior de la caja de zarandas en tiempo real (Marques Delgado, 2021).

## SENSORES DE ACUSTICOS

Se han desarrollado sensores de masa acústicos (MADS), que registran los impactos de los granos y el resto del material que se mueve dentro de las cosechadoras. Cuentan con una superficie de impacto sobre una cámara acústica y un micrófono que transforma las ondas sonoras en señales eléctricas. Diferencian la densidad del material que impacta en el sensor por sus diferentes ondas sonoras, por lo que distingue los flujos de grano del resto del material y del ruido que genera el funcionamiento de la cosechadora (Schøler et al., 2017). Estos sensores no tienen piezas móviles y no requieren recalibración a pesar de los cambios de tamaño y velocidad de partículas registrados (Appareo, 2021). Si bien son utilizados para relevar la distribución del flujo de partículas en fertilizadoras, sembradoras air drill y cosechadoras, en estas últimas van dispuestos en grupos de cuatro sensores alineados y equidistantes (Fig. 78 ).



Fig. 78 MADS, sensores de masa acústicos desarrollados para cosechadoras (Appareo, 2021).

AGCO introdujo estos sensores en sus cosechadoras “Ideal” (no se comercializan en Argentina hasta la fecha), dispuestos tanto de forma longitudinal como transversal, en los sistemas de trilla, separación y limpieza (Fig. 79 ), lo que le permite realizar una representación grafica del flujo del cultivo dentro de la cosechadora, tanto transversal como longitudinal (Rademacher, 2020). De este modo se puede por ejemplo, detectar si todo el grano es separado en la parte frontal del cóncavo, indicando que resta capacidad de separación en la parte posterior como para aumentar el índice de alimentación (Wolfgang, 2019.)

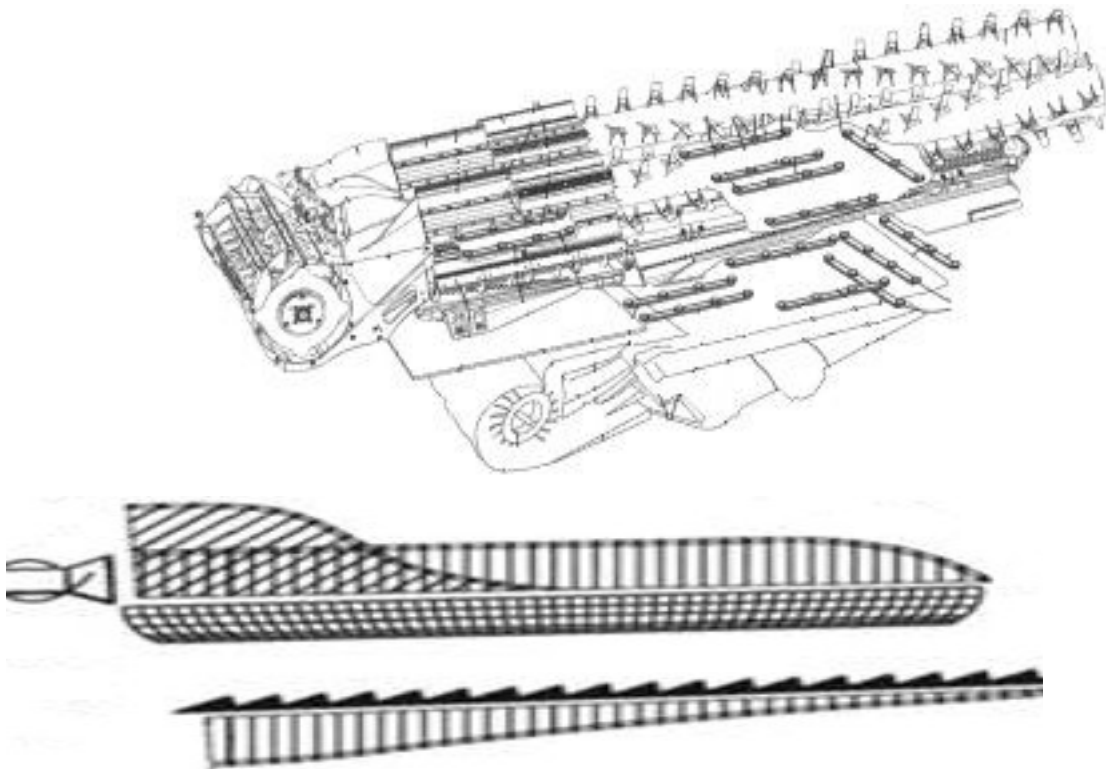


Fig. 79 Disposición de los sensores acústicos en la cosechadora y representación del flujo relevado.

## CÁMARAS DIGITALES PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE GRANO EN TIEMPO REAL

Tradicionalmente la calidad del grano cosechado se evalúa tomando una muestra de la tolva de grano limpio de la cosechadora, para comprobar si la presencia de grano con daño mecánico y/o de material no grano, demandan modificar las regulaciones de la cosechadora. El desarrollo de cámaras digitales de evaluación de la calidad de grano permite tener información de forma continua en la cabina para realizar los ajustes cada vez que cambian las condiciones del cultivo (Gajdzinski, 2013).

La firma Claas viene incorporando a las cosechadoras una cámara color que va instalada en el extremo superior de la noria de grano limpio. La cámara no filma el flujo de grano sino que va tomando imágenes cada segundo. Está separada y protegida del flujo de grano por un cristal de zafiro que resiste la abrasión y se va autolimpiando por el mismo material que se desplaza sobre el vidrio. Debido a la velocidad del flujo de grano, el tiempo de exposición para la toma de las imágenes es muy corto y además cuenta con un flash de alta intensidad a causa de la falta de luz dentro de la noria. Para analizar las imágenes, el sistema utiliza una base de datos de diferentes cultivos que le permiten diferenciar los granos sanos de los dañados y el material no grano, por tamaño y color, calculando ambos porcentajes a partir del análisis de varias imágenes. Esta información se visualiza en la consola de la cosechadora como gráficos de barras en donde también se señalan los valores límites para estos parámetros (Fig. 80 ). También se pueden visualizar las imágenes de los granos diferenciando el grano dañado y el material no grano (Escher & Krause, 2014).

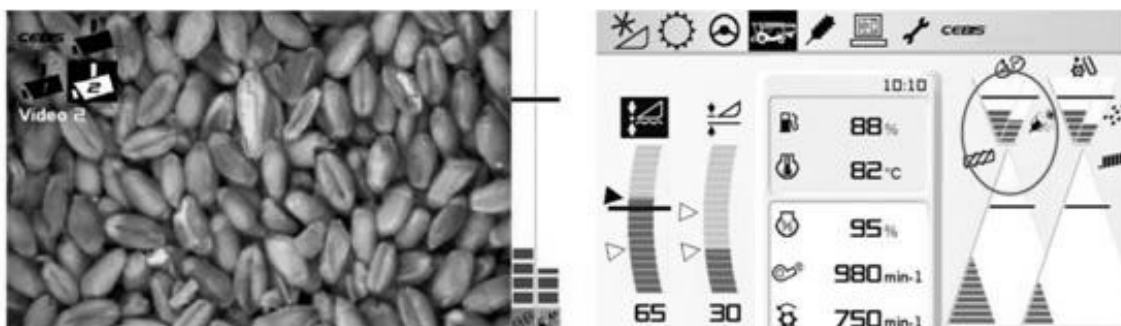


Fig. 80 Presentación de los resultados de la cámara en la consola de cosechadora Claas.

Estos sistemas son confiables en su evaluación de la calidad de grano (Fig. 81 ), y han sido incorporados por los principales fabricantes de cosechadoras, que en algunos casos instalan una segunda cámara en el sistema de retrilla para analizar la composición del materia que circula por este sistema (John Deere, 2018) o controlan la calidad de grano con una cámara multiespectral como CaseIH y New Holland.

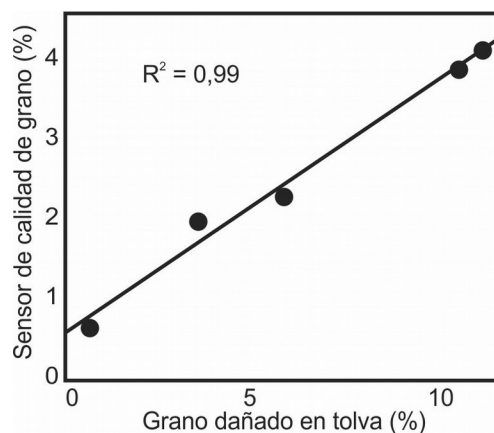
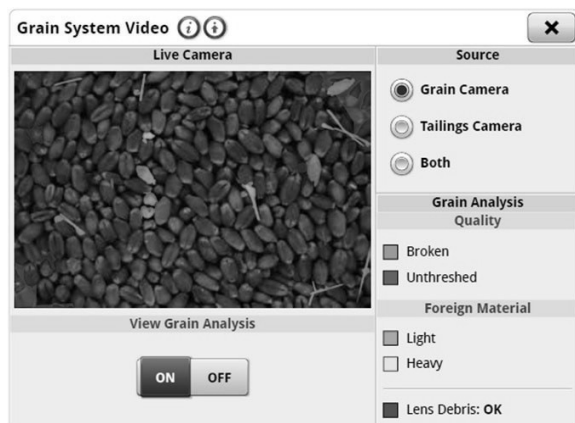


Fig. 81 Consola para visualizar datos de la noria de grano limpio o la retrilla. Regresión entre grano de soja dañado y la evaluación digital del mismo (Hermann, 2018).



## AUTOMATIZACIÓN DE LAS REGULACIONES DE LA COSECHADORA

La incorporación de sensores mencionados a las cosechadoras permite relevar de forma continua las condiciones del flujo del cultivo cosechado, que analizado por algoritmos complejos, permite realizar correcciones en los parámetros de regulación para optimizar el funcionamiento del sistema. Los primeros desarrollos estos sistemas funcionaban mediante una estrategia de regulación interactiva, que alertaban al operador de la cosechadora cuando el cambio en las condiciones del cultivo demandaba modificar las regulaciones de la cosechadora, presentándole en la consola de la cabina los ajustes recomendados. Una vez seleccionados por el operador se ejecutaban automáticamente. Más recientemente las cosechadoras vienen incorporando como alternativa a la regulación interactiva, un modo de trabajo completamente automático, que cuando es activado realiza los ajustes sin consultar al operador de la cosechadora, aunque este puede retornar al modo manual en cuanto lo decida. Un operador capacitado puede considerar innecesario un sistema automático ya que tiene la experiencia para a lo largo de una jornada de cosecha, interpretar adecuadamente cuando hacer las regulaciones necesarias, pero los sistemas automáticos permiten realizar los ajustes en una escala de tiempo mucho más precisa (Fig. 82 ). Se estima que se logra un incremento del 20% de capacidad de trabajo (Mendieta, 2012). Estos sistemas además permiten que operadores con poca experiencia logren optimizar el funcionamiento de la cosechadora desde el primer día. La optimización de la cosecha se logra por disponibilidad de un sistema de control que integra la información de todos los sensores. Por ejemplo, si durante la cosecha el sistema tuviera margen de maniobra en términos de pérdidas de grano y utilización del motor, el índice de alimentación aumentaría automáticamente mediante el incremento de la velocidad de avance y luego de avanzar unos metros corregiría las regulaciones de los sistemas de trilla y limpieza (Wolfgang, 2019).

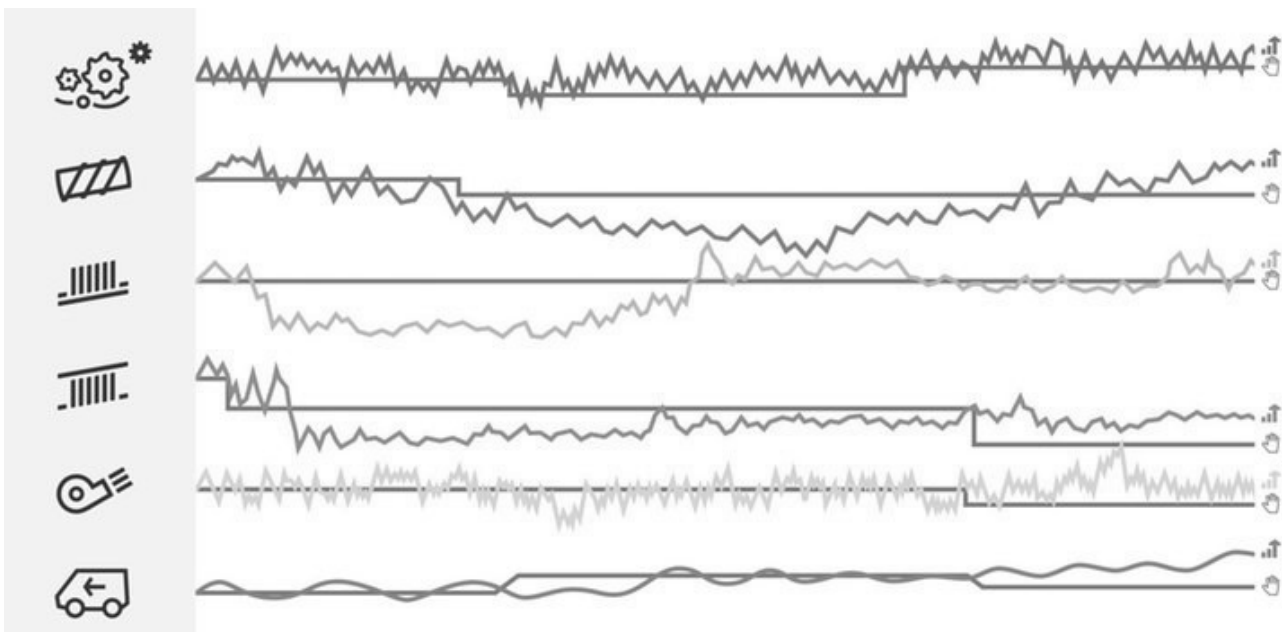


Fig. 82 Variación de distintos parámetros de la cosechadora híbrida con el control manual y automático, a lo largo del día. Los parámetros graficados de arriba abajo son intensidad de trilla, régimen de la separación centrifuga, apertura de zarandón superior y zarandón inferior, régimen del ventilador y velocidad de avance. Aunque con el control manual se van realizando ajustes, con el control automático estos son más frecuentes y pronunciados a causa de que los sensores detectan variaciones en las condiciones del cultivo cosechado que no son apreciables para el operador desde la cabina (Claas, 2020).

En estos sistemas generalmente se debe definir inicialmente cuál es el objetivo prioritario para el que se van a realizar los ajustes de la cosechadora entre tres o cuatro alternativa que no siempre son las mismas entre los distintos fabricantes de cosechadoras.

Tabla: Comparación de prioridades o estrategias de cosecha de los sistemas automáticos de cuatro fabricantes de cosechadoras. El sistema automático realiza los ajustes según la estrategia seleccionada por el operador de la cosechadora.

<b>John Deere ICA2</b>	<b>Claas CEMOS Automatic</b>	<b>AGCO IdealHarvest</b>	<b>New Hollan IntelliSense Case HarvestCommand</b>
Reducción de pérdidas	Capacidad de trilla	Reducción de pérdidas	Reducción de pérdidas*
Daño mecánico al grano	Consumo combustible	Daño mecánico al grano	Índice de alimentación fijo
Limpieza del grano	Calidad de grano	Limpieza del grano	Índice de alimentación max
Calidad de la paja	Balanceado / equilibrado		Calidad de grano**

\*Performance

\*Calidad de grano refiere a minimizar tanto el daño mecánico como mejorar la limpieza de granza.

## 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 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 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 Fig. 83, 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.

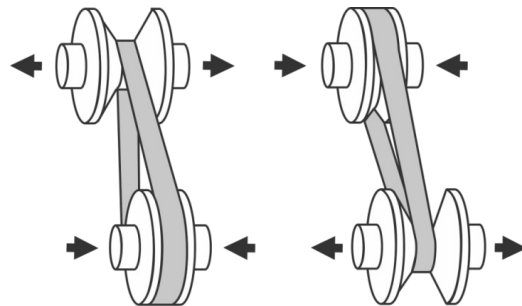


Fig. 83 transmisión variable continua con correa y polea variadora.

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 el operador selecciona para el sistema de trilla entre dos rangos, con un cambio de 300 a 800 vueltas y con el otro de 600 a 1600 vueltas. Luego con la polea variadora, ajusta el régimen dentro del rango seleccionado.

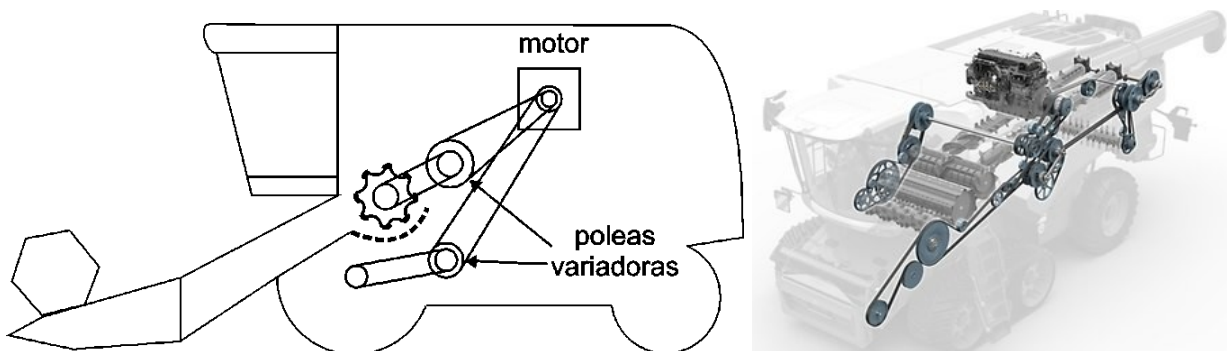
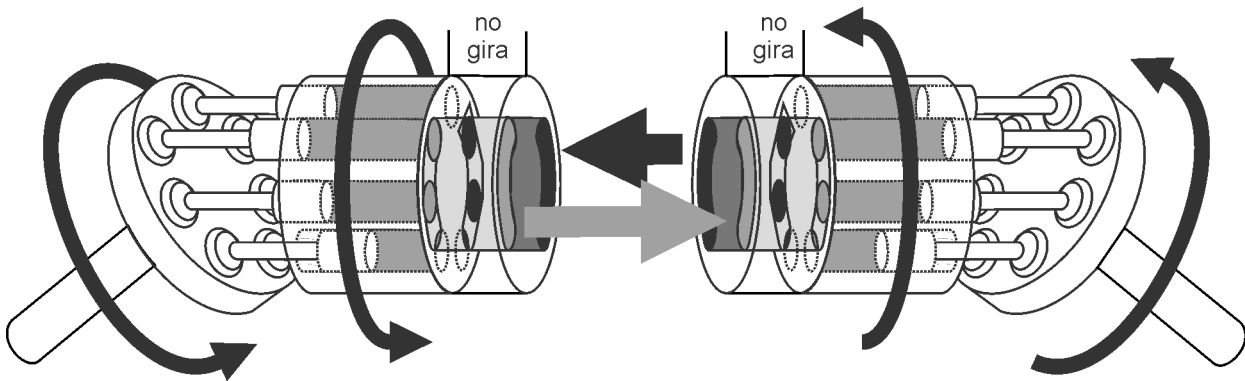


Fig. 84 La transmisión al cilindro y a las ruedas es independiente, pudiendo ajustarse el régimen de cada uno sin modificar el régimen del motor, al variar la relación de transmisión con la polea variadora.

### 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.

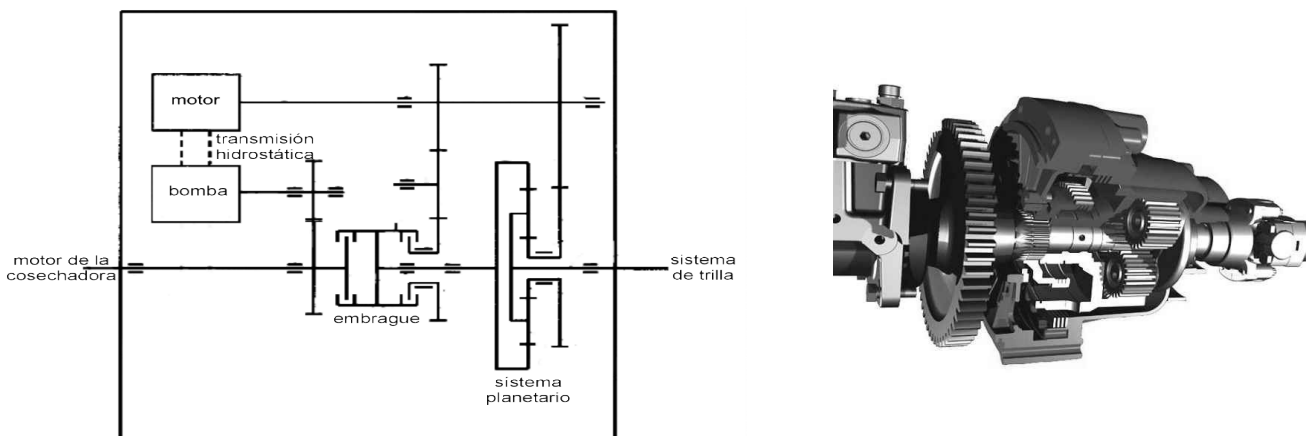


Fig. 85 A la izquierda se observa el esquema de la transmisión "Power Plus" (derecha), de las cosechadoras Case IH de mayor potencia. Se distingue la rama hidráulica en la parte superior y la mecánica debajo. Esta transmisión tiene la particularidad de poseer un embrague para desacoplar la rama mecánica 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, 2) Colocar rodados duales, 3) 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 y 4) Las cosechadoras de mayor potencia suelen fabricarse con orugas de goma en reemplazo de las ruedas.
- 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 máquinas. 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 máquina liviana puede producir tanta compactación como una pasada de una máquina 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

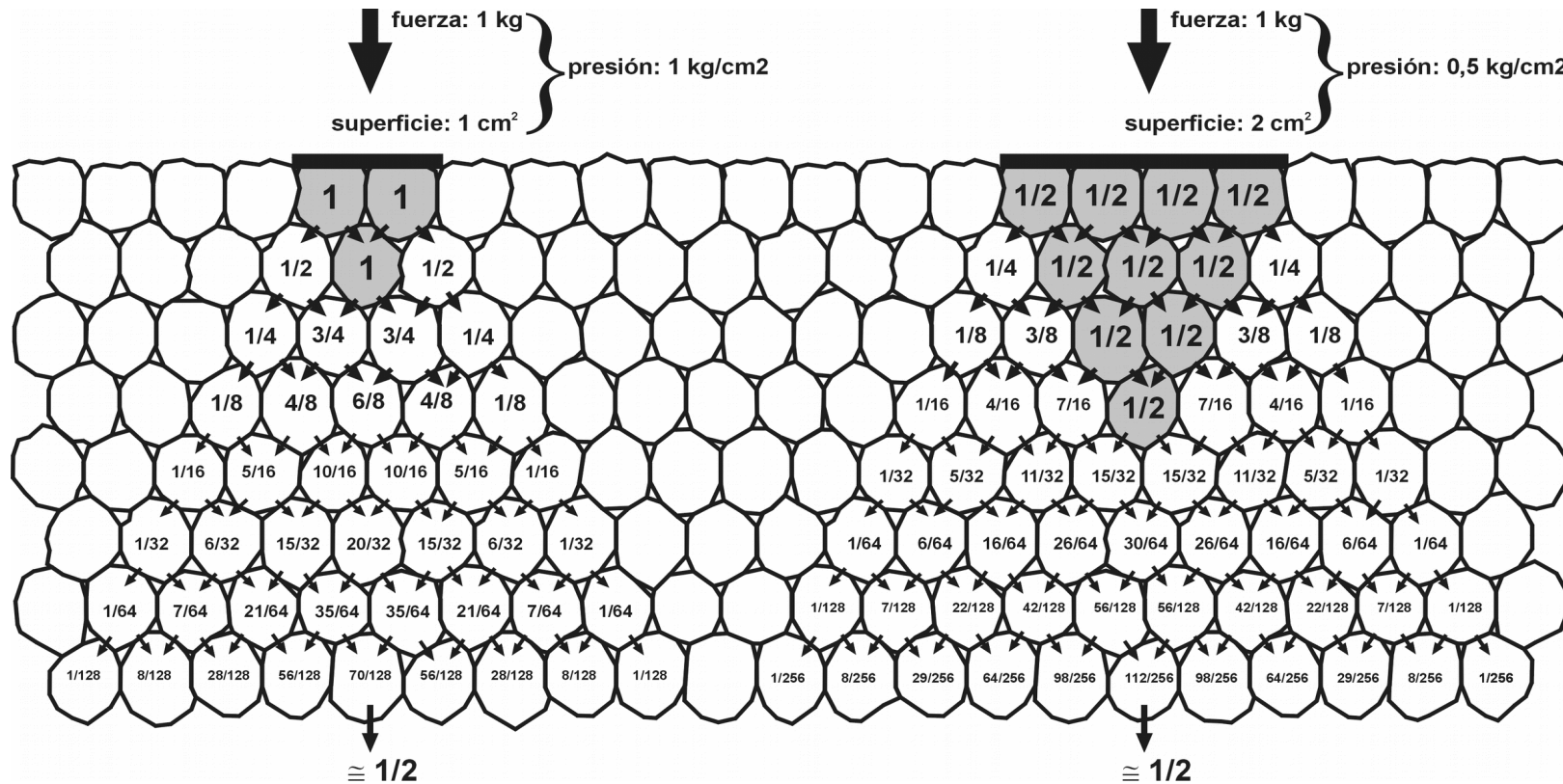


Fig. 86 En la figura se puede observar que la presión de compactación sobre la superficie del suelo, se puede reducir si se aumenta la superficie de apoyo para un mismo peso. Por lo tanto la compactación superficial depende de la presión sobre el suelo. La fuerza que se aplica en la superficie del suelo 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, hay métodos que demandan frenar la cosechadora para poder medir como el propuesto en Brasil por el EMBRAPA (Mesquita et al. 1998) 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 descripta 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 m<sup>2</sup> de superficie del suelo con cuatro aros de 0,25 m<sup>2</sup> arrojados al azar. Una vez medida la cantidad de grano perdido en 1 m<sup>2</sup> proporcionalmente se obtiene los kilogramos por hectárea perdidos. En caso de no contar con una balanza se suelen utilizar las siguientes equivalencias:

Cultivo	Granos/m2 que equivalen a 100 kg/ha
Maíz	33
Soja	60
Trigo	333
Girasol	120 grandes o 140 medianos o 160 chicos
Sorgo	285
Cebada	270



Fig. 87 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.

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 causas de las pérdidas 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.

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 m<sup>2</sup> 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. Unos de los aros se arroja debajo de la cosechadora entre las ruedas y los otros tres al costado de la cosechadora, detrás del cabezal (ver fig.). 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

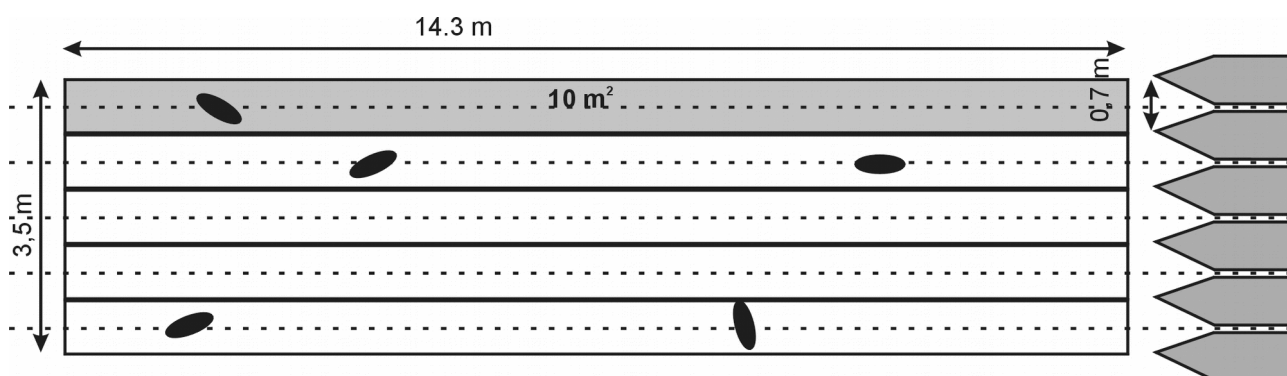
La norma ASAE 396.2 recomienda repetir las mediciones de perdidas por cosecha al menos cinco veces y preferentemente más de siete veces.

### 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, 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<sup>2</sup> 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<sup>2</sup>. 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 figura las pérdidas son de 150 gr/10 m<sup>2</sup> lo que es igual a 150 kg/ha.



Resumiendo:

$$\text{Perdidas por espigas caídas} = (\text{n}^\circ \text{ de espigas} / \text{n}^\circ \text{ de hileras del cabezal}) \times \text{peso de grano/espiga}$$

--

Las espigas se pueden perder en precosecha o en el 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 sobre el mismo cuadro, 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:

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 desgranán 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 de pérdidas relevada por el INTA PRECOP. 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.

Cultivo	Precosecha (kg/ha)	Cabezal (kg/ha)	Cola (kg/ha)	Total Cosecha (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

### 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 m<sup>2</sup> 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.

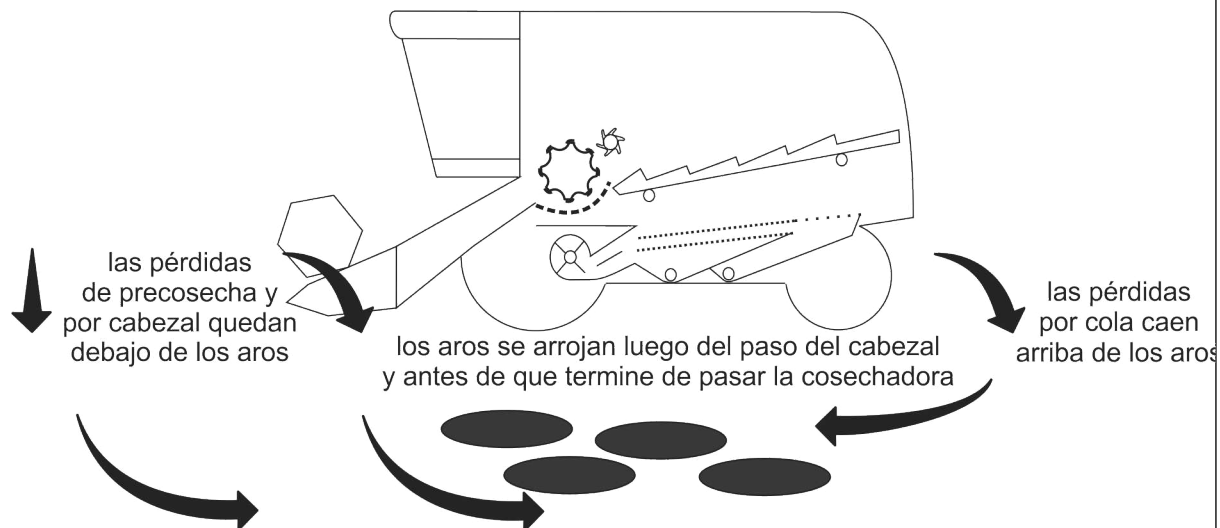


Fig. 88 Metodología de medición de pérdidas del INTA PRECOP.

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.

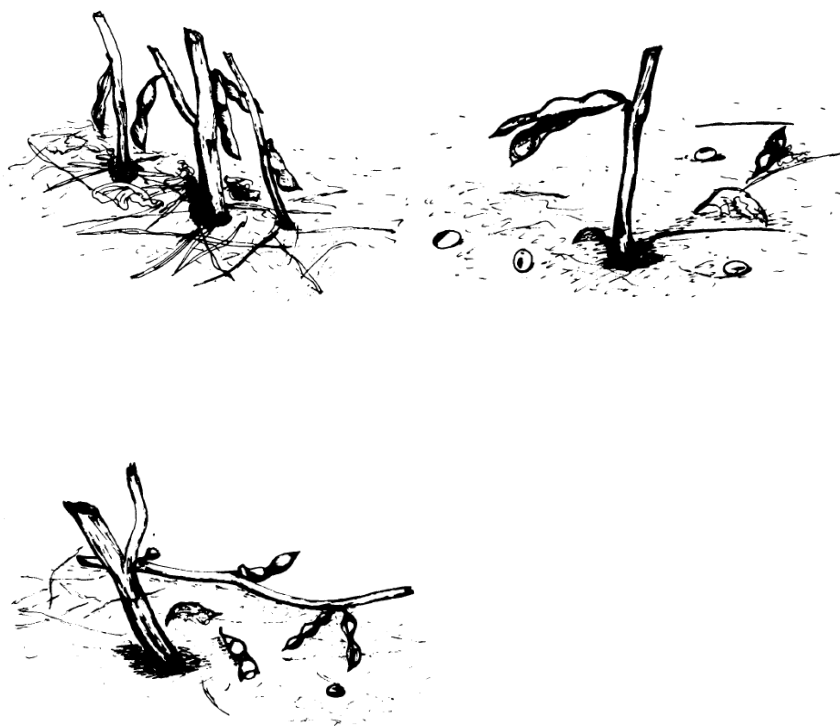


Fig. 89 Izquierda: pérdidas por altura de corte. Centro: granos sueltos o en vainas caídas. Derecha: granos en ramas caídas.

#### 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/m<sup>2</sup> y por cola 10 granos /m<sup>2</sup>. A falta de una balanza se tuvo en cuenta que 60 granos de soja pesan 10 gramos, por lo que 60 granos/m<sup>2</sup> 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.

#### **Análisis de las causas y posibles soluciones.**

Para reducir las pérdidas por cabezal se deben 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.

Fig. 90

## PÉRDIDAS DE CALIDAD DE GRANO POR DAÑO MECÁNICO EN LA COSECHA

Aparte de las pérdidas de granos que quedan en el suelo sin cosechar, se producen pérdidas en la calidad de los granos por daño mecánico durante la cosecha. El daño mecánico puede ser visible como cuando se encuentra grano partido, lo que afecta la comercialización de granos con destino a la agroindustria (Tabla 1.), o puede producirse daño mecánico no visible que generalmente afecta a la viabilidad de la semilla que se destina a la implantación de un nuevo cultivo. El daño mecánico puede reducirse con un adecuado mantenimiento y/o regulación de la cosechadora. Es conveniente evaluar el porcentaje de daño mecánico durante la cosecha y realizar los ajustes necesarios en la cosechadora para que no supere valores que puedan ocasionar pérdidas económicas. Se debe tener en cuenta que el daño mecánico se puede producir en distintos puntos de la cosechadora, como en el sistema de trilla si está regulado muy agresivo, en el sistema de retrilla si está trabajando muy cargado, en los distintos sinfines que desplazan el grano en la cosechadora cuando han sufrido desgaste con el uso y dañan el grano o inclusive en el sinfín del carro tolva. Por tal motivo es conveniente tomar muestras del grano que ya salió de la cosechadora y en caso de encontrar un porcentaje de daño elevado, parar la maquina y tomar muestras en distintas partes de la cosechadora para identificar donde se produce el mayor porcentaje de daño. Los puntos de muestreo deberían ser:

- planchet debajo del sistema de trilla,
- tolva de grano limpio de la cosechadora,
- carros tolva,
- salida del sinfín de descarga de la misma.

### Determinaciones a realizar a las muestras de grano

El daño visible se diferencia dentro de las normas de comercialización entre grano quebrado y grano dañado, fijando los grados y tolerancias para diferentes cultivos (Tabla 1.).

**Grano quebrado o partido:** para determinar el porcentaje se depositan muestras sobre zarandas reglamentarias que varían en la forma y el tamaño de los orificios según el cultivo. Se realizan 15 movimientos de vaivén con la longitud que permita el brazo sobre una superficie lisa y se cuantifica la cantidad de grano quebrado que atraviesa el tamiz sobre el total de la muestra.

**Grano dañado:** son aquellos que presentan una alteración sustancial de su aspecto como los brotados, fermentados, podridos, calcinados, que no están asociados a daño mecánico durante la cosecha, por lo que no pueden ser corregidos ajustando o regulando la cosechadora.

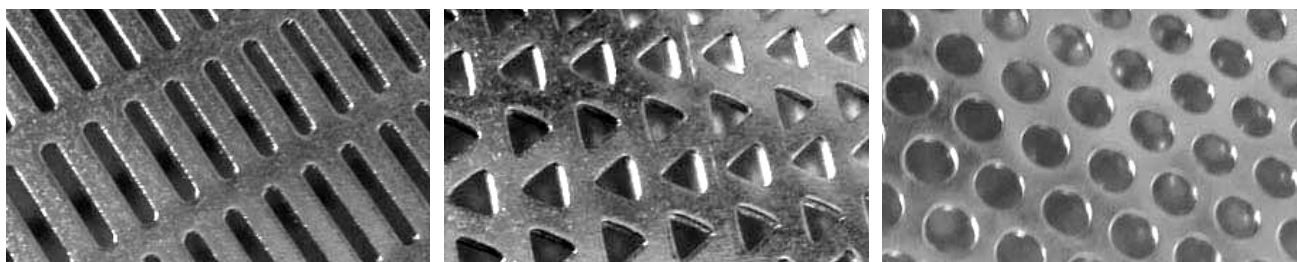


Fig. 91 Diferentes diseños de tamices para distintos cultivos. De izquierda a derecha trigo, sorgo, maíz. Las zarandas para maíz y soja son de agujeros circulares de 4 mm para soja y de 4,76 mm para maíz.

Tabla 1. Parámetros que cuantifican el daño mecánico en las normas de comercialización de granos.

<b>SOJA</b> tomado de NORMA XVII - Resolución SAGPyA 151/2008				
	base	tolerancia		
Granos quebrados y/o partidos	20%	30%	20-25% se rebaja un 25% del grano partido. 25-30% se rebaja un 50% y +30% se rebaja un 75%.	
Granos dañados	5%	5%		
<b>MAIZ</b> tomado de NORMA XII - Resolución SAGyP 1075/94				
	GRADO 1 (+1%)	GRADO 2	GRADO 3 (-1,5%)	Excedida
granos quebrados	2%	3%	5%	
granos dañados	3%	5%	8%	
<b>TRIGO PAN</b> tomado de NORMA XX - Resolución SAGPyA 1262/2004				
	GRADO 1 (+1,5%)	GRADO 2	GRADO 3 (-1%)	Excedida
granos quebrados/chuzos	0,5	1,2	2	
granos dañados totales	1	2	3	

El grano cosechado también puede sufrir daños que no son apreciables a simple vista, pero que pueden comprometer su viabilidad como semilla. La viabilidad de la semilla se puede determinar evaluando el porcentaje de germinación en cámara pero también existen test rápidos de laboratorio como el del tetrazolio que permiten reducir el tiempo de la prueba de más de una semana a dos días. El tetrazolio es un indicador redox que en los tejidos vivos toma color rojo al ser reducido por la actividad enzimática, permitiendo diferenciar en las semillas, los tejidos vivos de los que están dañados. Sin embargo ninguno de estos permite realizar la medición a tiempo para corregir el daño mecánico producido por la cosecha. Solo el test del hipoclorito reúne las condiciones para realizarse durante la jornada de cosecha, pero solo es útil para el cultivo de soja. El método conocido como Fast Green o Verde Rápido, que es adecuado para el cultivo de maíz, se puede completar en un par de horas pero demanda un análisis visual e interpretación del daño de cada semilla, por lo que en la práctica su adopción es poco probable.

**Test del hipoclorito o lavandina:** consiste en sumergir una muestra de 100 granos de soja en una solución de hipoclorito de sodio al 5% durante 10 minutos y luego colocarlos sobre papel secante para evaluar la cantidad de granos que presentan el tegumento roto y un tamaño de 2 a 3 veces el original (VanUtrecht et al., 2000). En la soja la cubierta o tegumento de la semilla es muy vulnerable y si se rompe, la viabilidad de la semilla disminuye considerablemente.



Fig. 92 Test del hipoclorito o lavandina. Granos con el tegumento dañado a la izquierda y granos sin daño a la derecha, luego de la prueba.

## **CARROS TOLVA O TOLVAS AUTODESCARGABLES**

Considerando que las cosechadoras son de las máquinas más costosas que intervienen en los procesos de

mecanización agrícola, éstas deberían trabajar sin pausa durante la cosecha para recuperar la inversión realizada en su adquisición. Los carros tolva o tolvas autodescargables, son fundamentales para optimizar la logística de cosecha de modo de descargar el grano de la cosechadora a tiempo para que esta no tenga que detenerse. Lo habitual es que cuando la cosechadora completa su carga, el carro tolva se desplace al costado de la misma para transferir el grano mediante el sinfín de descarga, mientras se sigue cosechando. El incremento constante de la capacidad de carga de los carros tolva llegando a más de 40 tn, ha llevado a que en algunos casos se realice la descarga en la cabecera con la cosechadora parada, cuando el suelo se encuentra susceptible a la compactación por el contenido de humedad.

Se fabrican tolvas de distinta capacidad en un rango que va desde 5000 a 45000 litros (como los granos tienen distinto peso hectolítrico, es conveniente expresar la capacidad en volumen y no en peso). En la medida que aumenta la capacidad de las mismas, las ruedas se disponen en uno, dos, tres ejes, encontrando tolvas con orugas por arriba de 40000 litros de capacidad. Al aumentar la superficie sobre la que se apoya la carga de la tolva sobre el suelo, se reduce la presión de compactación (Fig. 93 Para una misma capacidad de tolva la presión sobre el suelo se reduce al pasar de uno a tres ejes y aun más con orugas, pero también se reduce la presión al pasar a utilizar rodados más grandes como los 30,5-32, en lugar de los más habituales 23,1-30 o 24,5-32. Los rodados deberían ser de alta flotación y de preferencia radiales. De todos modos en muchos casos se eligen tolvas de un eje por su menor costo y gastos de mantenimiento en rodados y dirección, además de su mayor maniobrabilidad. Las tolvas de dos ejes por otra parte presentan mayor facilidad de enganche.

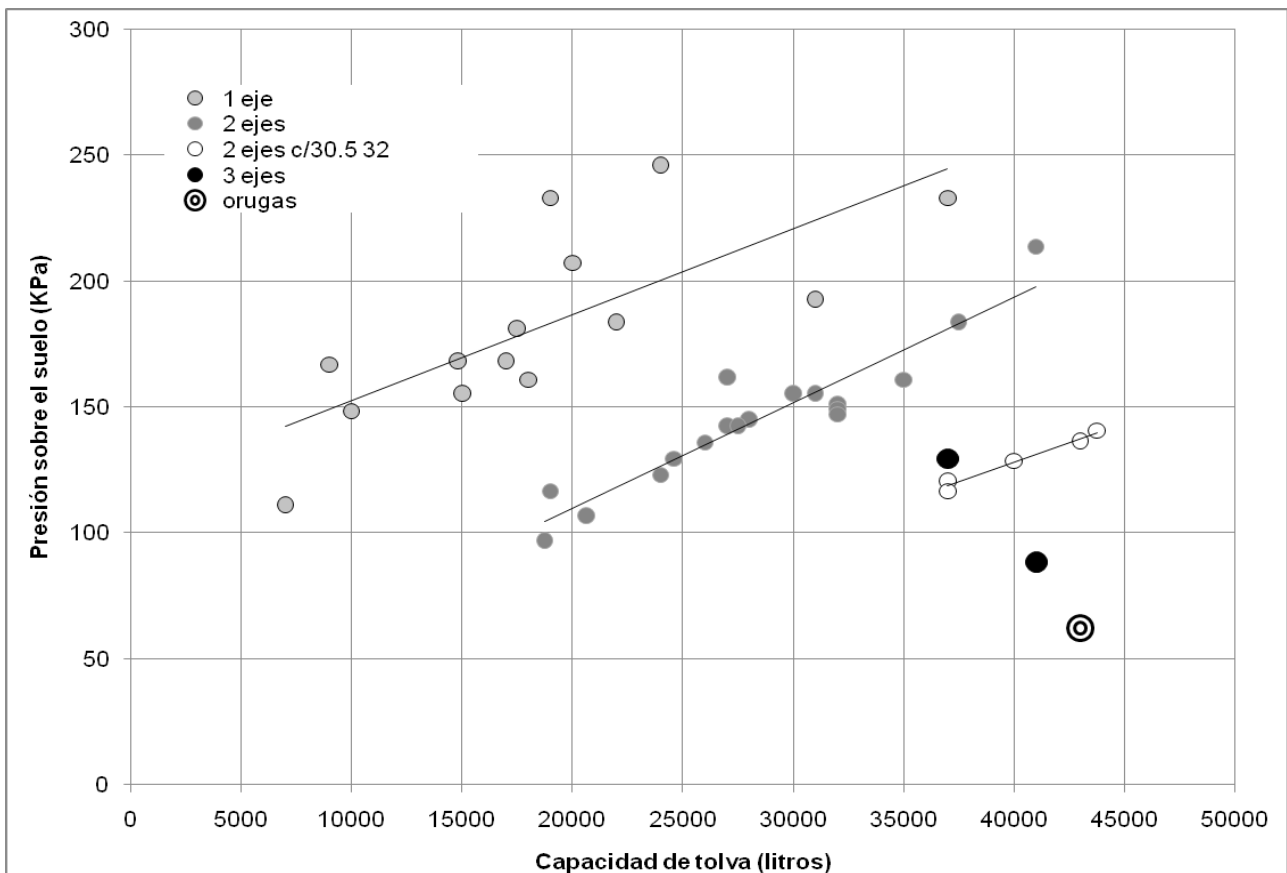


Fig. 93 Analisis de la presión de compactación ejercida por distintas tolvas fabricadas por siete empresas nacionales.

En la medida que aumenta la capacidad de la tolva, también lo hace el diámetro del sinfín y el caudal del

mismo, permitiendo que el tiempo de descarga se mantenga entre 2 y 5 minutos (Fig. 94 ).

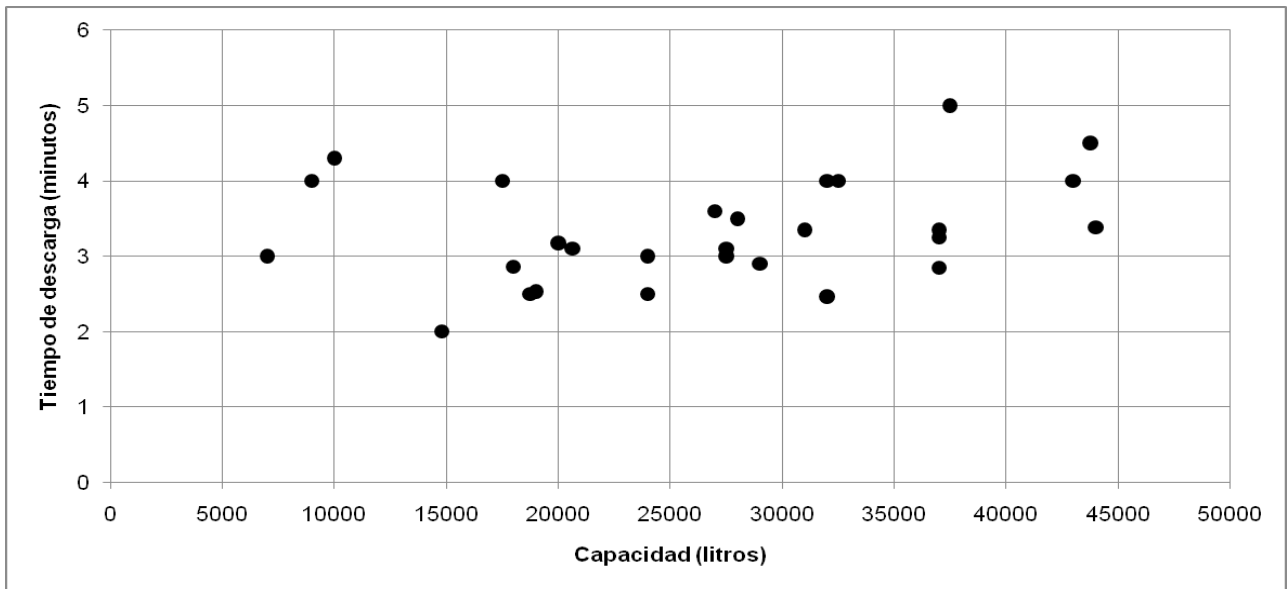


Fig. 94 Tiempo de descarga en relación a la capacidad de la tolva.

La demanda de potencia al tractor para tracción, aumenta con la capacidad de la tolva. Tentativamente se puede multiplicar por cinco la capacidad de la tolva en metros cúbicos, para estimar la potencia demandada al tractor (Fig. 95 ).

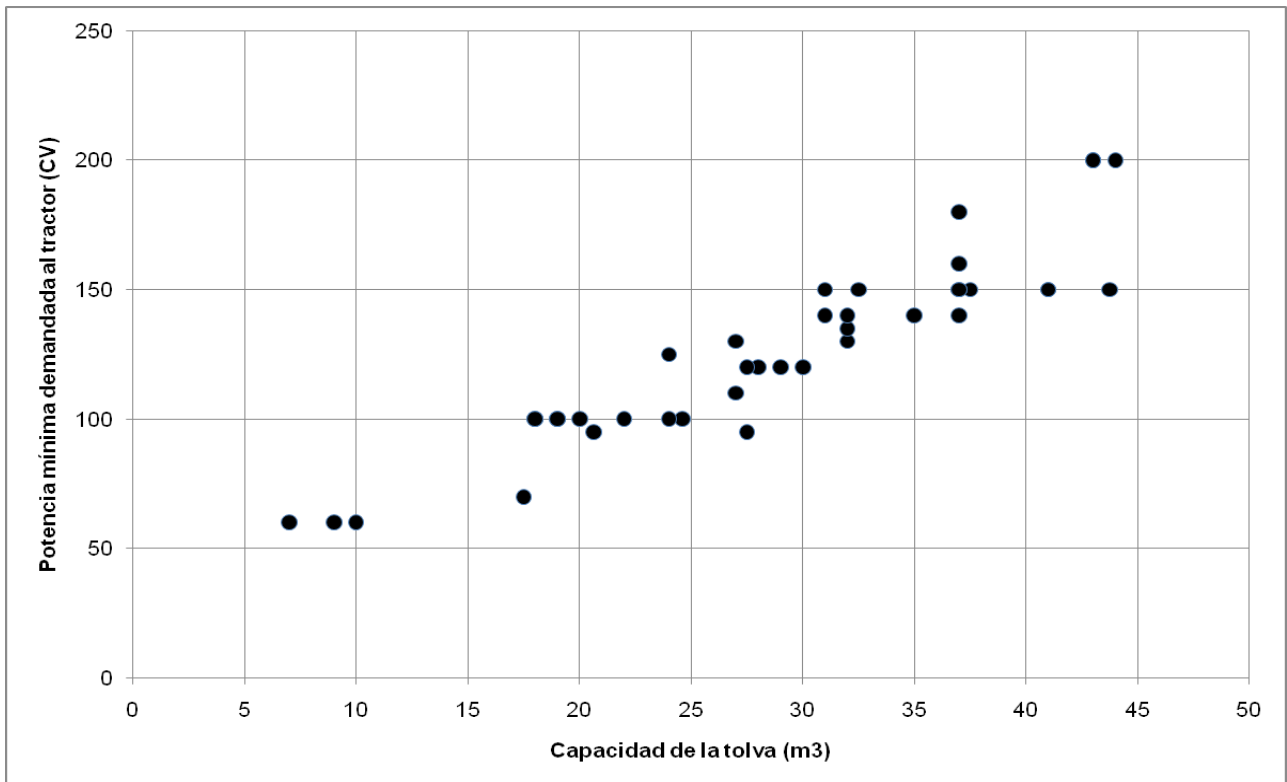


Fig. 95 Relación entre la capacidad de la tolva y la potencia demandada al tractor para tracción.

Cada vez es más habitual que los carros tolvas estén equipados con balanzas electrónicas para controlar los volúmenes de cosecha que se almacenan los granos en bolsas.



## PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN CONSECHADORAS

En Argentina más de 100 cosechadoras por año sufren principios de incendios que son sofocados a tiempo, 30 de ellas sufren daños considerables, y más de 20 unidades sufren la destrucción total (Bragachini et al. 2013). Se registraron 639 incendios de cosechadoras por año en un estudio que abarcó 38 de los estados de Estados Unidos (Venem et al., 2002). En Australia se estima que alrededor del siete por ciento de los recolectores por año iniciarán un incendio, y uno de cada 10 causará daños significativos a la máquina o al cultivo circundante (Paull, 2016).

### Causas de los incendios de cosechadoras.

La cosecha mecanizada de granos se lleva adelante habitualmente en condiciones de elevadas temperaturas, baja humedad ambiente y con abundancia de polvillo inflamable depositándose sobre partes de la cosechadora que superan la temperatura de ignición de este material. Si a esto se le suma el viento se tiene los cuatro factores que predisponen a la aparición de un incendio.

La mayoría de los incendios de cosechadoras comienzan en el compartimiento del motor, aunque también se inician por problemas con cojinetes o frenos defectuosos, sistemas eléctricos, golpes de rocas. El caño de escape del motor llega a los 500°C en su superficie y la temperatura de ignición de los residuos de cosecha es de 200°C aproximadamente. Mientras que lo que arde sean residuos de cosecha el incendio es controlable pero se van reduciendo las posibilidades si se propaga por la cosechadora, por lo que es importante intervenir tempranamente. El tipo de material inflamable con el que se inician los incendios es principalmente residuos de cultivos, combustible para motores y fluido hidráulico. Debe prestarse especial atención a que la mayoría de los incendios de cosechadoras ocurren a primera hora de la tarde.

Se suele atribuir la causa de los incendios en las cosechadoras a chispas generadas por la carga estática, pero la evidencia no respalda que esta sea la causa principal de estos incendios (Quick, 2010).

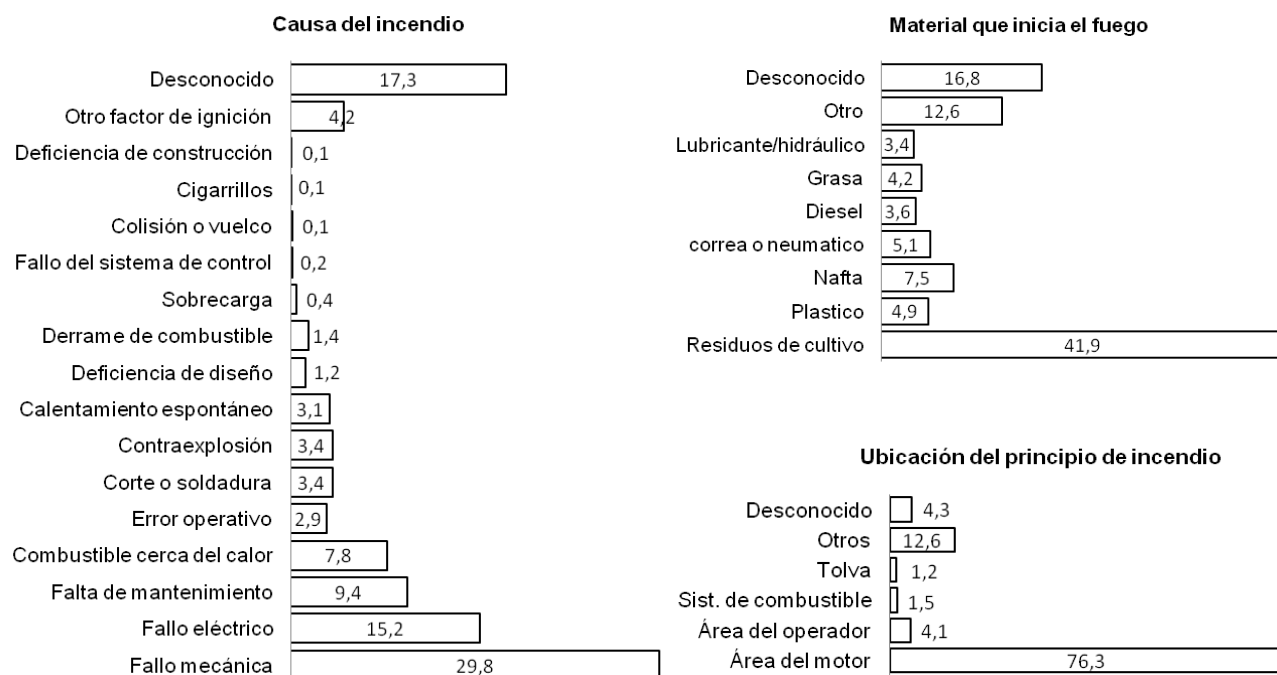


Fig. 96 Estadísticas sobre el origen de los incendios en las cosechadoras (Venem et al., 2002).

## Medidas para prevención de incendios (modificado y ampliado de IRAM 2017)

- **Modificaciones estructurales.** Rediseñar y elevar la toma de aire de los radiadores del motor para aspirar aire de un ambiente con menor contenido de polvo y granza. Proteger toda entrada de aire a los ventiladores para evitar el ingreso de deposiciones peligrosas. Canalizar la parte trasera de la cosechadora con pantallas de goma encauzando el flujo de paja y granza fuera del área del motor y su toma de aire u otras superficies calientes. Comprobar el aislamiento del sistema eléctrico (puede haber daño por roedores) y evitar cambios que puedan recargarlo (ej. reemplazar un fusible por otro de distinto amperaje)...
- **Limpieza.** Limpiar con sopladoras la cosechadora diariamente y, si fuera necesario el área del motor dos veces por día. Evitar toda pérdida de aceite y/o gasoil del motor.
- **Control de temperatura.** En el circuito hidráulico, correas, rodamientos, barra de corte y otros puntos sujetos a rozamiento, controlar la temperatura con una pistola infrarroja. Reemplazar las piezas que presenten temperaturas más elevadas que lo habitual (+50%), ej. una correa patinando. El uso de sensores de temperatura y/o humo con alarmas acústicas y visuales es recomendable.
- **Plan de acción contra incendios.** Asegurar que el equipo de cosecha tenga un plan y comprenda sus responsabilidades en caso de un incendio. Contar con un listado de los teléfonos de los bomberos, del operario de la cosechadora y de la tolva.
- **Monitorear las condiciones ambientales.** Evitar trabajar con temperaturas mayores a 30°C, humedad relativa menor a 30% y velocidad de viento promedio, mayor a 35 Km/h (ver Tabla 2.).

## Medidas para control de incendios

- **Matafuegos (extintores de incendios).** Disponer de matafuegos de polvo químico seco clase ABC (controla sólidos inflamables, líquidos inflamables y materiales con energía eléctrica), cerca de los escalones de la cabina y en la parte trasera de la máquina. También en los acoplados tolva. La detección temprana de incendios a menudo permitía extinguir un incendio con los matafuegos. La detección posterior permite que el fuego se desarrolle más completamente y caliente los componentes circundantes, que sirven como puntos de reinicio, lo que a menudo dificulta o imposibilita la supresión del fuego con equipos portátiles (Shutske et al., 1994).
- **Equipar los acoplados tolvas** con un tanque de 300 l de agua y con una bomba eléctrica o mecánica a la toma de potencia, con el fin de actuar inmediatamente sobre cualquier foco de incendio que pueda producirse

Tabla 2. Condiciones ambientales para dejar de cosechar por riesgo de incendios, basado en el Índice de comportamiento del fuego utilizado en Australia, por ej. 20 % HR, 30 °C y 30 km/h de viento (White, 2017).

Velocidad del viento a la que dejar de cosechar (km/h)		Humedad Relativa (%)								
		5	10	15	20	25	30	40	50	60
Temperatura (°C)	15	33	36	39	43	47	51	60	60	60
	20	29	32	35	38	41	45	53	60	60
	25	26	28	31	33	36	40	47	56	60
	30	23	25	27	30	32	35	41	49	58
	35	21	22	24	26	28	31	36	43	51
	40	18	22	21	23	25	27	32	38	45
	45	16	18	19	21	22	24	28	34	40

# 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.

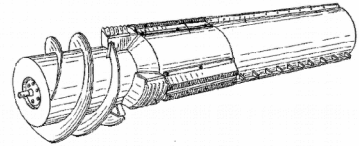
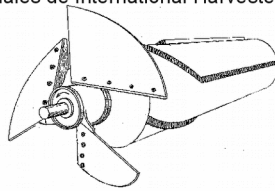
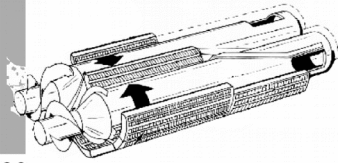
1970

1971: New Holland patenta una cosechadora axial con dos rotores

1969: primeras patentes de cosechadoras axiales de International Harvester.

1974: New Holland produce la primera cosechadora axial

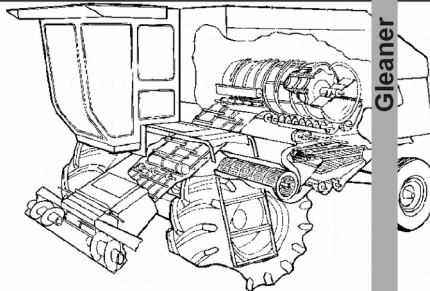
1977: International Harvester introduce al mercado la cosechadora Axial Flow



1980

1979: Gleaner lanza una cosechadora axial con rotor transversal.

1980: White lanza la cosechadora con el rotor de mayor tamaño del mercado. Los elementos de trilla y separación intercalados,  
1985: Massey Ferguson compra White



New Holland

International Harvester

Gleaner

White

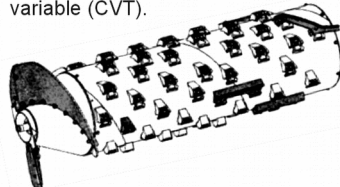
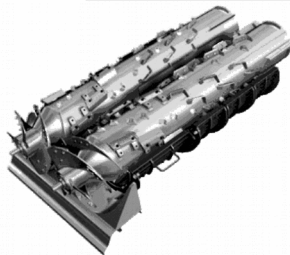
1990

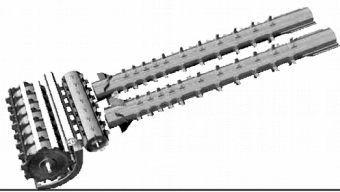
1991: AGCO adquiere White y Massey Ferguson.

2000

1999: Case IH y New Holland se fusionan en CNH,

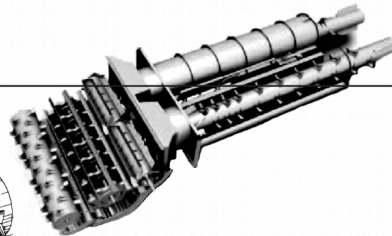
2002: Case IH rediseña el cono de alimentación del rotor para lograr un flujo más uniforme. Es el primer rotor con transmisión hidrostática continua variable (CVT).





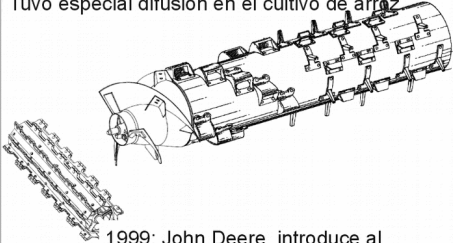
1991: John Deere lanza la cosechadora CTS, con un sistema de trilla convencional y dos rotores axiales para realizar la separación. Tuvo especial difusión en el cultivo de arroz.

Deere CTS



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

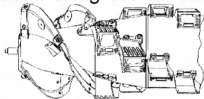
Claas Lexion



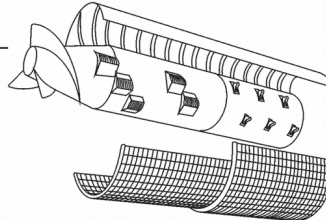
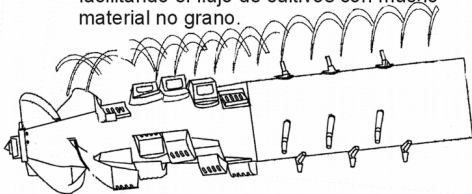
1999: John Deere introduce al mercado la cosechadora STS. El cono de alimentación era asistido por cilindro acelerador. Elementos de trilla y separación en dos sectores diferenciados.

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.



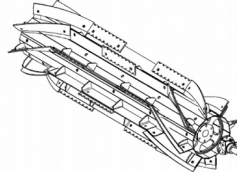
Vassalli

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

Metalfor

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

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	<b>MF 6690 Híbrida 265</b>
	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 <b>4130</b>
	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 <b>Axial mix 550 250</b> RV 150 234 RV 150 electro 250@ RV 125 electro 234 <b>RV 125 Arrocera 234</b>

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 <b>520C 350/380</b>	<b>540C 410/450</b>	<b>560C 470/510</b>
R 66 300@			A78 425/459
MF 9690 321	MF 9790 350 <b>MF 9695 350</b>		MF 9895 425 <b>MF 9795 459</b> <b>MF 9895 470</b>
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 <b>Tucano 460</b>	Lexion 660 350 Tucano 480 350 <b>Tucano 560 326</b> <b>Tucano 570 326</b>	Lexion 750 425 Lexion 740 386 Lexion 670 386	Lexion 760 469@ Lexion 770 523 <b>Lexion 780</b>
2688 284 <b>5130 272</b>	7120 388 7088 345 2799 330 <b>6130 326</b>	8120 425 <b>7130 378</b> <b>7230</b>	<b>8230 455</b> <b>9230</b>
CR6080 300 CS 660 280	CR 9060 394		CR 9080 455 <b>CR 7.90 408/449</b> <b>CR 8.80 449/490</b> <b>CR 8.90 449/490</b> <b>CR 9.80 475/517</b> <b>CR 9.90 530/571</b> <b>CR 10.90 598/653</b>
9670 STS 310 <b>S550 271</b> <b>S660 320</b>	9770 STS 360 <b>S670 373</b>	9870 STS 440	<b>S680 473</b> <b>S690 543</b>
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: RELACIONES ENTRE DISTINTOS PARÁMETROS DE COSECHADORAS COMERCIALIZADAS 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\$s/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.

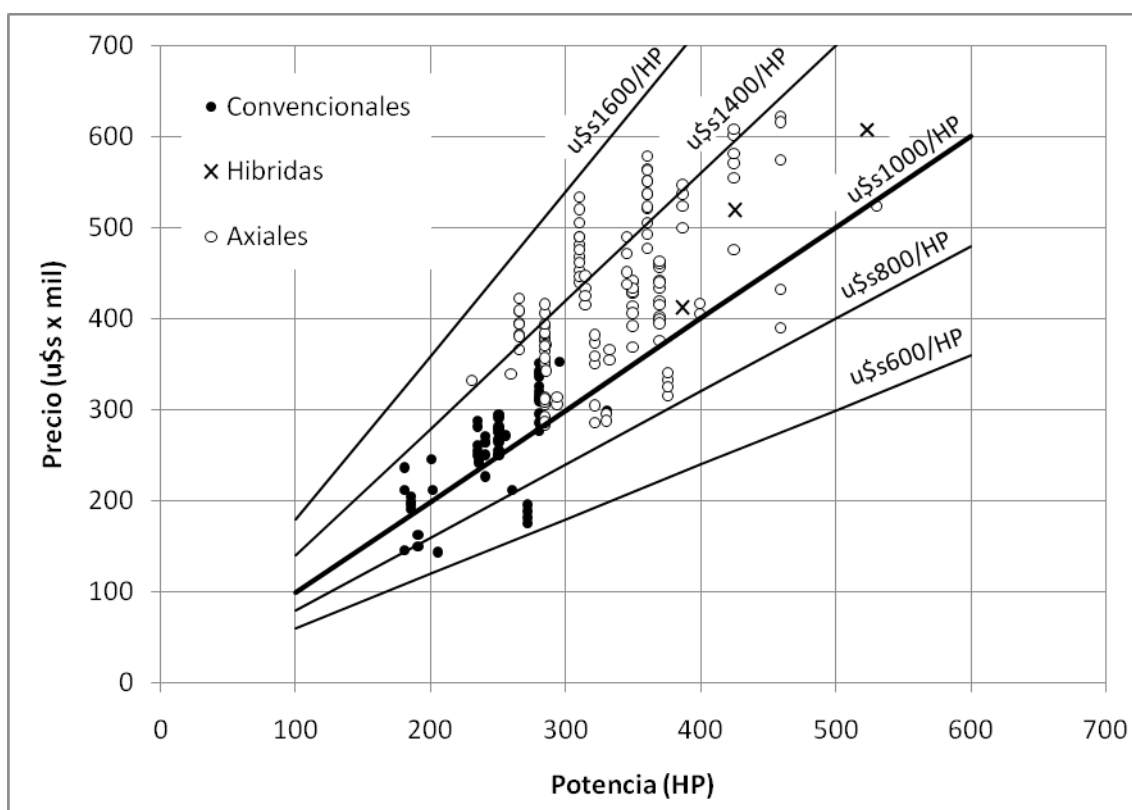


Fig. 97 Precio de las cosechadoras comercializadas en Argentina (2013), en función de la potencia de las mismas, distinguiendo entre cosechadoras axiales, híbridas y convencionales. El precio se expresa en miles de dólares. Se trazan líneas de relación precio/potencia.

## Cabezales

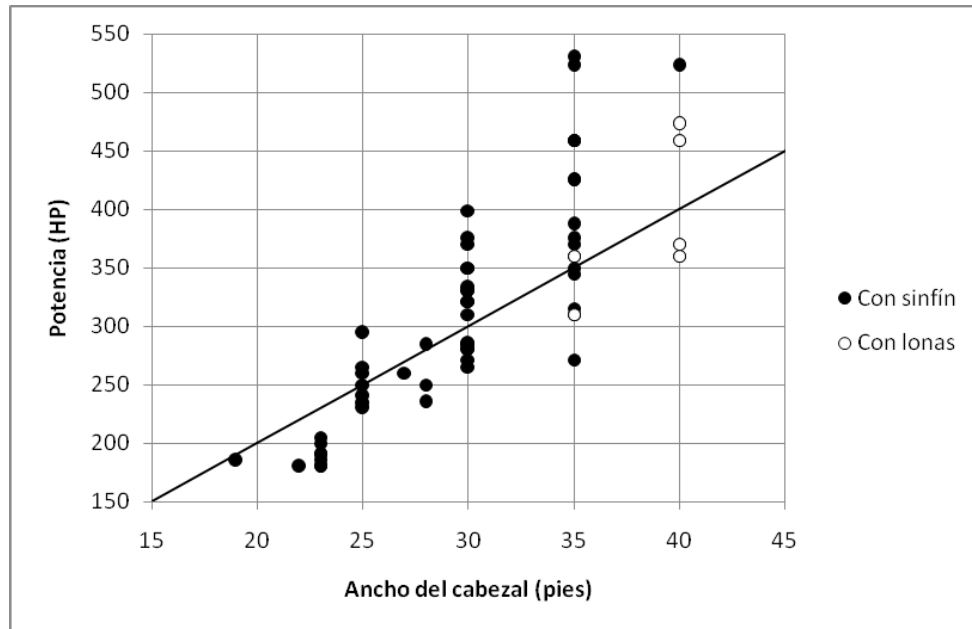


Fig. 98 Relación entre el ancho de cabezales para cosecha de trigo/soja y la potencia de las cosechadoras comercializadas en Argentina (2013), distinguiendo entre cabezales de lonas y de sinfín. Se traza línea de relación precio/potencia. La línea se corresponde con los puntos donde la potencia se corresponde 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).

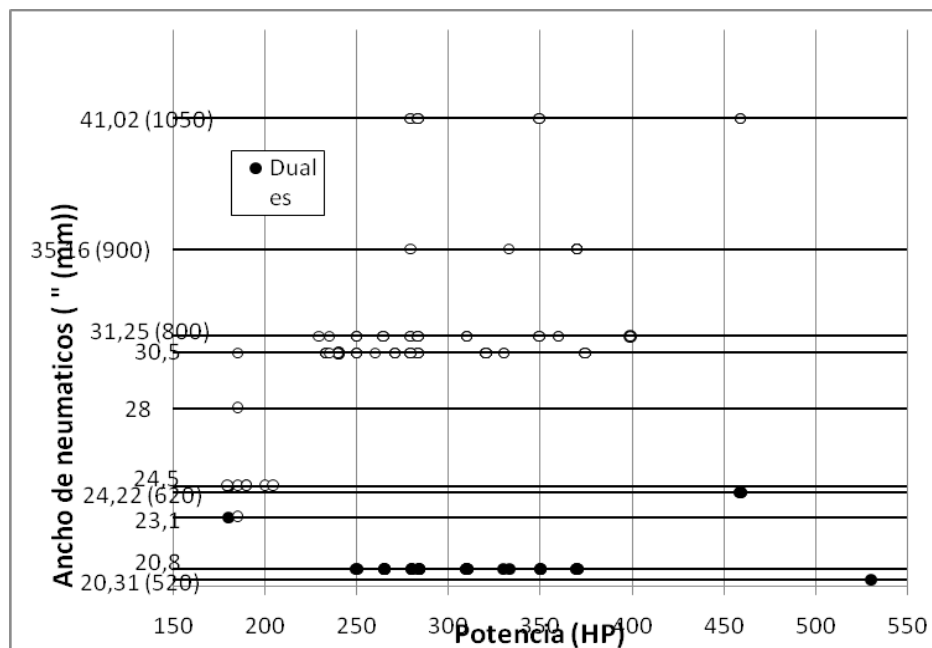


Fig. 99 Ancho de los neumáticos utilizados en las cosechadoras comercializadas en Argentina (2013), en función de la potencia de las mismas, distinguiendo los casos en los que se utilizan duales.



## REFERENCIAS

- AGCO, 2009. Take Control of Your Harvest. AGCO, Duluth, GA, USA
- Arango Perearnau, M. R. (2018). Caracterización de la calidad de lotes de maíz (*Zea mays* L.) para su uso como simiente a través de ensayos fisiológicos y químicos.
- Bainer Kepner Barger, 1955. Principles of farm machinery. John Wiley & Sons.
- Baumgarten, J.: Challenges of calibrating grain loss sensors of combine harvesters – Observations on grain loss measurement using the pan drop method and resulting conclusions for grain loss calibration, 03./04.11.2020. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): VDI Berichte 2374, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2020, S. 203-212.
- 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 n° 3. INTA PRECOP. Manfredi, Cordoba, Argentina.
- Bragachini, M. & J. Peiretti, 2008. Cosecha de Maiz, actualización técnica N° 36. INTA PRECOP.
- Bragachini, M., & Casini, C. (2004). Girasol. Eficiencia de Cosecha y Postcosecha. Proyecto Eficiencia de Cosecha y Postcosecha de Granos. Manual Técnico nro. 2.
- Claas 2018, Convio Flex. Harsewinkel. Deutschland.
- CNH, 2018. Axial Flow Combine Headers. USA.
- Dahany, A., 1994.
- De Baerdemaeker, J., & Saeys, W. (2013). Advanced control of combine harvesters. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(18), 1-5.
- Deere, 2008. HarvestSmart™ feedrate control system [http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en\\_NA/combindes\\_headers/2008/feature/combindes/cab\\_controls/harvestsmart.html](http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/combindes_headers/2008/feature/combindes/cab_controls/harvestsmart.html)
- 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.
- Escher, M., & Krause, T. (2014). Grain quality camera. En *Proceedings of the 4th International Conference on Machine Control and Guidance (MCG) 19th-20th March*.
- Farrell, M., Bragachini, M., Peiretti, J., Coen, B., & Rivarola, R. (2008). Pérdidas de cosecha en girasol. El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana, 83.
- Ferrari, H., M.C. Ferrari; F. Sanchez; G. Urretz Zavallía; 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)*. N°44.
- 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). N°44.

- Gajdzinski, A. 2013. Agritechnica Innovations Magazine. DLG-Verlag GmbH
- 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.
- 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, H. M., and G. R. Quick. 2007. Grain harvesting machinery design. In *Food machinery handbook*, Myer Kutz ed. William Andrew Publishing, Norwich, NY. pp 93 - 111.
- Hanna M & Van Fossen L, 2008. Profitable corn harvesting, IowaState University, Extension Report PM-574, Ames, IA, 4 pp.
- Hofman, V. L., & Hellevang, K. J. (1997). Harvesting, drying, and storage of sunflower. *Sunflower technology and production*, 35, 671-696.
- 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.
- Humboldt, D. G. P. (1978). Grain loss monitors. *Prairie Agricultural Machinery Institute*, 2, 15-17.
- 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*
- INTA PRECOP 2012. Eficiencia de cosecha de girasol con agregado de valor en origen. Actualización técnica nro. 71. Ediciones INTA.
- John Deere. 2018. S700 Combine. *Resource Magazine*, 25(1), 14.
- Klinner, W. E., 1988. European *Patent No. 0423789B1*. European Patent Office.
- 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.
- L Serafin, D McCaffery, S Thompson (2014) Sunflower. Summer crop production guide 2014. pp. 80–92. NSW DPI Management Guide. NSW Department of Primary Industries, <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/broadacre-crops/guides/summer-crop-production-guide>
- Lambertini, R. J. 2017. *U.S. Patent No. 9,603,304*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- 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.
- Münch, P. (2019). Predictive feed-rate control for combine harvesters. *LandTechnik AgEng 2019*, 08.-09.11. 2019 Hannover. *LandTechnik AgEng*, 545-552.
- NewHall, M. 1982. Upside Down Cutterbar. *Farm Show Magazine*. Volume 6, Issue 4, Page 7. [www.farmshow.com/a\\_article\\_print.php?aid=7154](http://www.farmshow.com/a_article_print.php?aid=7154)
- Quick, G. R., & Buchele, W. F. (1974). Reducing combine gathering losses in soybeans. *Transactions of the ASAE*, 17(6), 1123.
- Quick, G. R., (2002). Rice harvesting. En: *Rice: origin, history, technology, and production* (Vol. 3). Smith, C. W., & Dilday, R. H. (Eds.). John Wiley & Sons.
- 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.
- Shelbourne, K. H. (2001). *U.S. Patent No. 6,315,659*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- 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.
- Taylor, R. K., Hobby, H. M., & Schrock, M. D. (2005). Evaluation of an automatic feedrate control system for a grain combine. In *2005 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- VanUtrecht, D., Bern, C. J., & Rukunudin, I. H. (2000). Soybean mechanical damage detection. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(2), 137.
- Vázquez, J. M. & J. Peiretti. 2009. Revisión teórica sobre cabezales Strippers para cosechadoras. [www.cosechaypostcosecha.org](http://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*.
- Hermann, D. (2018). Optimisation of Combine Harvesters using Model-based Control. DTU Elektro.
- Wolfgang R. 2019. Jedes Korn zählt. VDI nachrichten e-paper. <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automation/jedes-korn-zaehlt/>
- Th. Rademacher 2020. Assistenzsysteme im Mähdrescher: Guter Fahrer und/oder Assistent? profi Spezial September 2020

- Mendieta, S. 2012. Más Lexion. Revista Agrotécnica, 9: 40-42.
- Claas, 2020. Fahrerassistenzsysteme. [https://www.claas.de/produkte/maehdrescher/lexion-8900-7400/fahrerassistenzsysteme?subject=CVG\\_de\\_DE](https://www.claas.de/produkte/maehdrescher/lexion-8900-7400/fahrerassistenzsysteme?subject=CVG_de_DE)
- Marques Delgado, L. 2021. Sima. Premios a la Innovación 2021. Revista Agrotecnica Online. <https://agrotecnica.online/sima-premios-a-la-innovacion-2021/>
- Aesaert, G., Jongmans, D. W., Mahieu, T., & Viaene, K. M. (2020). *U.S. Patent No. 10,820,507*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Rademacher, Th. 2020. Assistenzsysteme im Mähdrescher: Guter Fahrer und/oder Assistent? profi Spezial September 2020
- Schøler, F., Batcheller, B. D., Bremer, M. T., Butts, N. L., Nystuen, P. A., Reich, A. A., ... & Thurow, B. R. (2017). *U.S. Patent No. 9,629,308*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Wolfgang R. 2019. Jedes Korn zählt. VDI nachrichten e-paper. <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automation/jedes-korn-zaehlt/>
- Appareo, 2021. Acoustic Material Flow Sensor. <https://appareo.com/ag-construction/acoustic-material-flow-sensors/>
- Oliva, J. & S. Tourn, 2019. Control de malezas a cosecha: implicancia y factibilidad en nuestro país. En *XXX Congreso AAPRESID (Rosario, 10 al 12 de agosto de 2022)*.
- Colsmann, L. 2020. Den Körnern an den Kragen – Nachernte-Prozessor am Mähdrescher. Profi 32 78-79.
- Kondinin Group, 2020. Harvest Weed Seed Control. ResearchReport 121, 28 pp.
- Berry, N. 2014. Optimisation of an Impact Mill that Processes Chaff Exiting a Combined Harvester to Devitalise Annual Ryegrass (*Lolium Rigidum*) Seeds (Doctoral dissertation, University of South Australia).
- Quick, G.R. An investigation into combine harvester fires; Grains Research and Development Corporation: Australia, 2010; p 20
- Paull, A. 2016. The keys to reducing harvester fire risk. Farming Ahead. Kondinin group. Australia. <https://www.farmingahead.com.au/harvesting/news/1330167/the-keys-to-reducing-harvester-fire-risk>
- Venem, M.T., W. Gilbert and J. Shutske. 2002. Combine Fire Prevention Summit. ASAE Paper No. 028017. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- White, B. 2017. Reducing harvest fires. GRDC. Australia. [https://grdc.com.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0026/582812/GRDC\\_BPG\\_HarvestFires\\_2210.pdf](https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0026/582812/GRDC_BPG_HarvestFires_2210.pdf)
- IRAM 2017. Norma 14130-5 Buenas prácticas para labores agrícolas Parte 5 Cosecha. 16 pp. Buenos Aires, Argentina.
- Shutske, J.M., Field, W.E., and Chaplin, J. 1994. Grain combine fires: a loss reduction approach. *Applied Eng. Agric.* 10(2): 175-182.
- Bragachini, M.A.; Mendez, A.A.; Peiretti, J.; Santa Juliana, D.M.; Velez, J.P.; Sanchez, F.R.; Villarroel, D.D.; Scaramuzza, F.M.; Pognante, J.; Gallarino, A. Incendios de cosechadoras y rastros en Argentina y su impacto económico, ambiental y social; INTA: Argentina, 2013; p 15.