

EMPACADORAS

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Belén Diezma Iglesias,

Profesora Titular

Natalia Hernández Sánchez,

Profesora Titular Interina

Dpto. Ingeniería Rural, Universidad Politécnica de Madrid

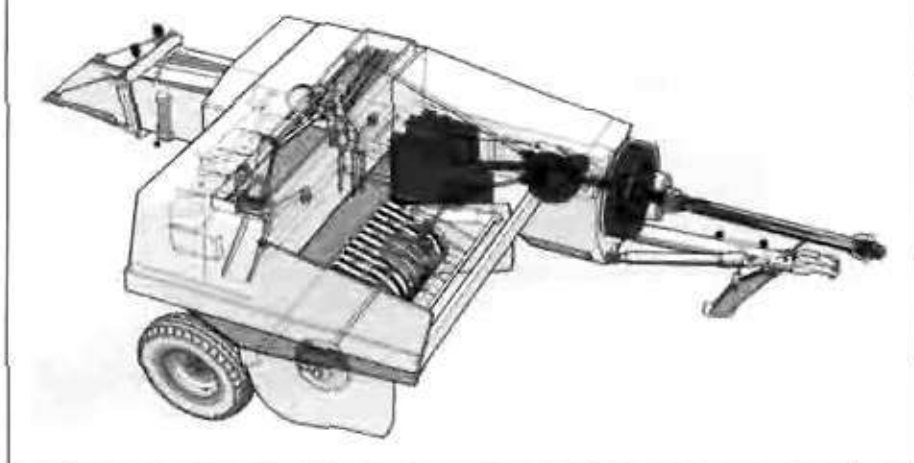
INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la producción forrajera requiere para su aprovechamiento la sucesión de una serie de máquinas con el objetivo de hacer llegar el alimento al ganado en las mejores condiciones posibles. Se puede considerar que el proceso de recolección del forraje se inicia con la siega y no concluye hasta que el producto se pone a disposición del animal, las etapas de ese proceso y las máquinas asociadas a las mismas están condicionadas por el sistema de aprovechamiento del forraje: consumo en verde, heno, ensilado o deshidratado. Se constituyen así las llamadas cadenas de recolección de forraje. La Tabla 1 muestra diferentes opciones de recolección que se pueden adoptar en una explotación forrajera en función del destino del forraje.

En Castilla y León la superficie de cultivos forrajeros cosechada durante 2006 superó las 130.000 ha (Tabla 2), de las cuales cerca de 60.000 ha se dedicaron a alfalfa (prácticamente 50% en regadío), algo más de 34.500 ha a cereales de invierno (95% en secano), y en torno a 26.500 ha a veza (fundamentalmente en secano). La producción superficial media de alfalfa en verde en regadío alcanzó las 52,8 t/ha, la correspondiente a cereales de invierno en secano fue de 13,2 t/ha y a veza en secano de 13,7 t/ha. En la Tabla 3 se incluye la distribución por usos de la producción nacional de los cultivos forrajeros más destacados en Castilla y León.

Las empacadoras, por tanto, juegan un papel destacado en la mecanización de los cultivos forrajeros en Castilla y León, formando parte de las cadenas de recolección de henificado y ensilado de cereales de invierno, alfalfa y veza. Por

Figura 1. Esquema de una empacadora convencional. Fuente: "Las Maquinas Agrícolas y su Aplicación".



- * En este artículo se hace una revisión de las principales características técnicas de las empacadoras, así como de las innovaciones más destacables que se han ido introduciendo en los últimos años en este tipo de máquinas
- * En Castilla y León la superficie de cultivos forrajeros cosechada durante 2006 superó las 130.000 has, de las cuales cerca de 60.000 has se dedicaron a alfalfa (prácticamente 50% en regadío), algo más de 34.500 has a cereales de invierno (95% en secano), y en torno a 26.500 has a veza (fundamentalmente en secano)
- * En los últimos años se ha acentuado en España la introducción de las grandes empacadoras, así durante 2007 de las 912 empacadoras inscritas 446 correspondieron a rotoempacadoras y 356 a empacadoras de grandes pacas prismáticas, teniendo éstas mayor demanda en Castilla y León, a pesar de su mayor precio, por ajustarse mejor a las cadenas de henificado y a la recogida de paja

otro lado, cabe destacar su tradicional función en la recogida de la paja de otros cultivos cerealistas, y su implicación en los más recientes procesos de aprovechamiento de diferentes cultivos como biomasa.

El empacado consiste en recoger el material vegetal dispuesto en cordones, para conformarlo en pacas más o menos pesadas, de forma y volumen variables según el tipo de máquina empleado. Así, en función de la forma, tamaño y densidad de las pacas obtenidas estas máquinas se clasifican en empacadoras convencionales, empacadoras de grandes pacas prismáticas o macroempacadoras y rotoempacadoras, estas dos últimas requieren de medios mecánicos en el manejo posterior de las pacas conformadas.

Tabla 1. Cadenas de recolección en cultivos forrajeros en función del destino del producto.

CADENA DE RECOLECCIÓN	DESTINO DEL FORRAJE	MAQUINARIA
1 Siega - Picado - Carga	Consumo en verde	a) Segadora - Rastrillo hilerador - Remolque autocargador con sistema de picado
		b) Cosechadora de forraje - remolque
2 Siega - Acondicionado - Empacado	Henificación (15-20 % humedad)	a) Segadora acondicionadora - Rastrillo volteador - Rastrillo hilerador - Empacadora
3 Siega - Acondicionado - Picado - Carga	Ensilado (60-75% humedad)	a) Segadora acondicionadora - Rastrillo hilerador - Remolque autocargador
		b) Segadora acondicionadora - Rastrillo hilerador - Empacadora - Encintado (microsilos)
		c) Cosechadora de forraje - Remolque
4 Siega - Transporte	Destidratado industrial	a) Segadora - Rastrillo hilerador - Remolque autocargador
		b) Cosechadora de forraje - Remolque

En los últimos años se ha acentuado en España la introducción de las grandes empacadoras, así durante 2007 de las 912 empacadoras inscritas en los Registros de Ma-

quinaria Agrícola, 446 unidades correspondieron a rotoempacadoras y 356 a empacadoras de grandes pacas prismáticas, teniendo éstas mayor demanda en Castilla y León, a pesar de su mayor precio de adquisición por ajustarse mejor a las cadenas de henificado y a la recogida de paja, operaciones preponderantes en la región.

EMPACADORAS CONVENCIONALES

Con las empacadoras convencionales se obtienen pacas de dimensiones y pesos tales que pueden ser manejadas manualmente: secciones de 35 x 40 a 45 x 65 cm, longitudes variables entre 0,4 y 1,4 m y pesos comprendidos entre 10 y 35 kg. Se trata de máquinas apropiadas para explotaciones pequeñas.

La Figura 1 muestra el esquema general de una empacadora convencional. Los principales elementos que la componen son el mecanismo recogedor, los órganos de alimentación, los órganos de compresión y los órganos de atado. Es de interés exponer aquí brevemente el funcionamiento de estas máquinas, compartido en buena medida por las empacadoras de grandes pacas prismáticas. El cilindro recogedor eleva el cordón hasta un espacio lateral al canal de compresión, desde donde los órganos de alimentación (tornillo sinfín asistiendo a juegos de horquillas) lo conducen a la cámara de prensado o compresión. Para la compactación del forraje un pistón se desplaza en el interior del canal entre 65 y 80 veces por minuto, coordinándose con los órganos de alimentación y atado. El atado de la paca se realiza mediante hilo con dos o tres amudadores que actúan al ser alcanzados por las agujas con el hilo, éstas atraviesan en canal de compresión una vez la paca tiene la longitud de consigna. La regulación de la longitud de la paca se realiza mediante un disco con puntas en su periferia, la llamada estrella, que es obligada a girar por la

Tabla 2. Superficie de cultivos forrajeros cosechada en Castilla y León por provincias durante la campaña 2006. Fuente: Anuario de Estadística Agroalimentaria 2007.

	Gramíneas	Leguminosas	Raíces y tubérculos	Praderas polifitas	Otras	Total
Ávila	2.299	1.625	7	53	-	3.984
Burgos	29	8.071	-	-	-	8.100
León	3.429	11.174	111	516	20	15.250
Palencia	4.110	33.007	-	365	-	37.482
Salamanca	28.928	2.548	-	112	-	31.588
Segovia	1.794	4.367	-	-	1	6.162
Soria	21	1.173	-	-	32	1.226
Valladolid	518	15.145	-	-	-	15.663
Zamora	1.375	11.215	-	-	126	12.716
CASTILLA Y LEÓN	42.503	88.325	118	1.046	179	132.171

Tabla 3. Destino del forraje en España por cultivos en 2006. Fuente: Anuario de Estadística Agroalimentaria 2007.

	Consumo en verde	Heno	Ensilado	Deshidratado
Cereales de invierno	30,9	55,4	13,7	-
Alfalfa	2,5	24,5	0,5	72,5
Veza	20,5	77,3	2,2	-

Foto 1. Empacadora convencional de tiro central. Fuente: Massey Ferguson.



Foto 2. Macroempacadora de pacas prismáticas. Fuente: Vicon.



>>> paca en su discurrir por canal de prensado: las vueltas que da la estrella antes de embragar el mecanismo que dispara las agujas determinan la longitud de la paca.

La mayor parte de los modelos disponen el canal de compresión en línea con el tractor y el recogedor desplazado lateralmente, aunque han aparecido en el mercado otros diseños en los que la cámara de compresión se encuentra en línea y la alimentación se realiza desde abajo, pasando el cordón que se recoge entre las ruedas del tractor (Foto 1), se consiguen así menores anchuras de transporte para las mismas anchuras de recogedor. Esta es la configuración presente en las macroempacadoras de pacas prismáticas:

MACROEMPACADORAS DE PACAS PRISMÁTICAS

Las macroempacadoras (Foto 2) permiten producir pacas con anchuras comprendidas entre 80 y 120 cm, alturas de 45 a 130 cm y longitudes de hasta 3 m, con pesos de hasta una tonelada. Frente a las rotopacas, las pacas prismáticas permiten mejor aprovechamiento del espacio en transporte y almacenamiento.

El diseño y proceso de trabajo de estas máquinas son muy similares a los de las empacadoras convencionales, presentando como principal particularidad la cámara de precompresión (Figura 2). Ésta permite alcanzar la cantidad de forraje mínima a introducir en la cámara de compresión para asegurar un óptimo efecto del pistón, salvando así las dificultades al encontrar cordones de densidad irregular. El recogedor eleva el forraje de la hilera, forraje que se va acumulando en la cámara de precompresión. En ésta unas horquillas actúan en ciclos para comprimir el material hasta que se alcanza una densidad de consigna, momento en el que se desencadena la introducción del material en el canal de prensado. La entrada a la cámara de empacado permanece bloqueada por el mismo pistón o por dedos retenedores durante el proceso de llenado de la cámara de precompresión. Una vez comprimida la paca es atada con sisal y expulsada.

Para el trabajo sobre hileras grandes y densas no es necesaria la acumulación de material, por lo que las marcas

Figura 2. Esquema de una macroempacadora de pacas cilíndricas. Fuente: Claas.

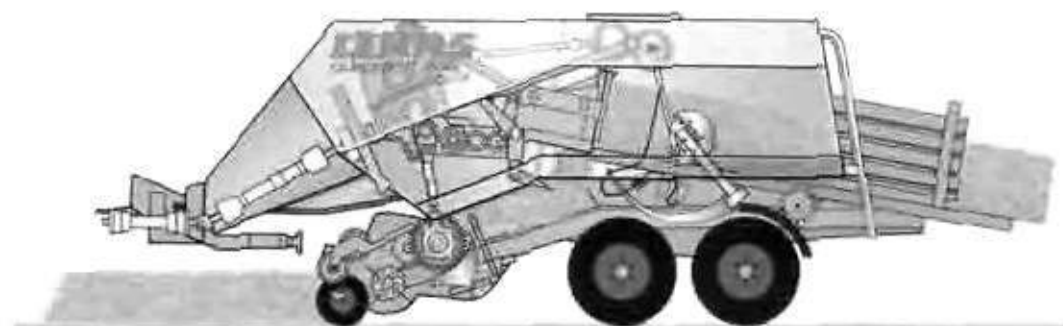


Figura 3. Detalle del sistema de anudado doble en las macroempacadoras de pacas cilíndricas.



Foto 3. Ventiladores para eliminación de suciedad en los anudadores. Fuente: Case.



incorporan la posibilidad de desactivar el funcionamiento de la cámara de precompresión mediante accionamiento hidráulico, haciendo llegar el producto directamente a la cámara de compresión principal.

El sistema de atado es similar al de las empacadoras convencionales, aumentando a 4 o 6 el número de atadores e incorporando en muchos modelos el método de dos nudos en cada línea de atado por paca (Figura 3). El anudado doble reduce la tensión que soportan los componentes del anudador y la cuerda, y evita que ésta se deslice por la superficie de la paca mientras el producto

se va trasladando por la cámara de empaçado, reduciendo las incidencias de rotura del hilo. Estas máquinas incorporan habitualmente potentes ventiladores que mantienen el área de anudado libre de suciedad (Foto 3)

Uno de los principales parámetros de regulación en estas máquinas es la densidad de la paca, que se mantiene mediante la presión de cilindros hidráulicos actuando sobre las paredes del canal de compresión. El operador establece la densidad requerida, con la ayuda de un sensor implementado en el pistón se actúa automáticamente sobre los cilindros de presión del canal para que la densidad de consigna y la medida coincidan. Siguiendo con las características de la paca, otra posible regulación es la longitud; en algunos modelos se realiza mediante el sistema mecánico basado en la estrella (Foto 4) que gira sobre la superficie de la paca (como en las empacadoras convencionales), mientras que en otros se sustituye por un sistema electrónico que al alcanzar la señal de consigna activa el dispositivo de los anudadores.

Es posible obtener información adicional sobre las pacas conformadas mediante sistemas de pesaje, con precisiones de $\pm 2\%$ según los fabricantes, que se implementan en el extremo de la rampa de descarga y que realizan la medida en la fase de eyección

de la paca (Foto 6). También es posible conocer el contenido en humedad de cada paca mediante sensores de humedad.

En múltiples circunstancias de trabajo puede convenir

Foto 4. Sistema para el control de la densidad de la paca. Detalle de uno de los cilindros hidráulicos que actúan para modificar la sección del canal de empaçado.



Foto 5. Dispositivo mecánico para la regulación de la longitud de paca. Fuente: New Holland.



Foto 6. Rampa de descarga con dispositivo para pesaje. Fuente: New Holland.



la extracción total del producto que quede en la cámara de empaçado, para ello se incorporan sistemas de eyección total consistentes en barras con púas situadas al fondo de la cámara de empaçado, que accionadas hidráulicamente desde la parte trasera de la máquina, expulsan todo el contenido de la cámara de empaçado. También es posible la activación de un sistema de eyección parcial para extraer únicamente la paca terminada y dejar el comienzo de la siguiente en cámara (Foto 6)

En cuanto a mejora de la maniobrabilidad los modelos de pesos elevados ofertan ejes rándem direccionales que además de facilitar que la máquina siga la trayectoria marcada por el tractor, disminuyen la compactación del suelo y el movimiento vertical de la empacadora. Asimismo, se han mejorado los diseños de las barras de tiro para disminuir el radio de giro necesario para reanudar la labor en cubecera.

La preocupación por la protección de los componentes

de las máquinas es una motivación constante en las mejoras introducidas por las diferentes casas comerciales, que incorporan sistemas de protección automática frente a atascos y sobrecargas tratando de minimizar el tiempo necesario para solucionar estos incidentes. Estos sistemas se basan tanto en sencillos pernos de cizalladura

como embragues de sobrecarga instalados en los elementos que alimentan la cámara de compresión y en el pistón de prensado.

ROTOEMPACADORAS

Las pacas obtenidas en estas máquinas tienen una característica forma cilíndrica (Foto 7). Su diámetro varía entre 0,60 y 1,80 m, mientras que la longitud está comprendida entre 1 y 1,50 m, siendo la medida más normal 1,20 m. Los pesos de las pacas oscilan entre 150-250 kg para paja, 250-350 kg para heno y 400-700 kg para silo.

En ellas se genera una capa de forraje que se enrolla sobre sí misma mediante diferentes elementos compresores móviles en el interior de una cámara cilíndrica. Según el diámetro de la cámara donde se produce el empaqueo distinguimos las rotoempacadoras de cámara fija y las de cámara variable. En las primeras, el diámetro final de las pacas será siempre el mismo, y la presión en su interior aumentará hasta alcanzar el nivel prefijado una vez se haya llenado la cámara de empaqueo (Figura 4). Este procedimiento supone una baja uniformidad de la compresión del material en la dirección radial, aumentando los valores en las capas más externas de la paca.

La presión es soportada por el portón trasero mediante resortes o cilindros hidráulicos, según modelo. La presión se ajusta a través de una válvula limitadora de presión incorporada en el circuito hidráulico de dichos cilindros.

Foto 7. Rotoempacadora de cámara variable.
Fuente: Claas.



Figura 4. Esquema de la formación de la paca en las rotoempacadoras de cámara fija.



Cuando lo que se persigue es obtener una paca de forraje uniformemente comprimido y con posibilidad de determinar el diámetro, se debe recurrir a las empaecedoras de cámara variable. En éstas la geometría de los elementos compresores varía a medida que entra el forraje, de

forma que el tamaño de la cámara va aumentando (Figura 5). La presión se mantiene constante durante todo el proceso de formación de la paca gracias, de nuevo, a la acción de resortes y cilindros hidráulicos sobre los brazos elevadores y tensores de los elementos compresores.

Entre los elementos compresores podemos distinguir tres tipos, que se presentan individualmente o en combinación, todos ellos configurando tanto cámaras fijas como variables. Por un lado tenemos barras metálicas transversales al sentido de avance de la máquina, alrededor de 50, y apoyadas sobre dos cadenas metálicas dispuestas en ambas partes de la empacadora (Foto 8). La transmisión de movimiento se realiza mediante ruedas dentadas y cadenas exteriores a la cámara. Las barras son antideslizantes con efecto dentado para favorecer el arrastre del material. El segundo tipo lo forman rodillos metálicos huecos de unos 20 cm de diámetro igualmente dispuestos en la periferia de la cámara y transversalmente (Foto 9). Su accionamiento puede ser mediante tren de engranajes o ruedas dentadas y cadenas exteriores. La robustez de estos rodillos es decisiva a la hora de conformar pacas de gran densidad. Para ello se presentan refuerzos interiores en forma de disco, lo que evita su combado y consiguiente efecto conel en la paca. Por último se puede disponer de correas de caucho formando una correa continua o bien varios tramos arrastrados por rodillos, los cuales se sustentan mediante brazos tensores (Figura 5, Foto 10). En cámaras variables los brazos pivotan para ampliar el volumen en el que va creciendo la paca. En los modelos que combinan rodillos y correas los primeros garantizan un inicio rápido del núcleo mientras las correas garantizan la presión constante durante el resto del ciclo (Figura 6) mediante muelles tensores y cilindros hidráulicos. También podemos encontrar en el mercado cámaras compuestas exclusivamente por cilindros en las que algunos presentan cierta capacidad de bascular, de forma que el aumento de presión comienza antes de alcanzar el diámetro máximo (Figura 7).

En empacadoras de cámara fija y en las de cámara variable cuando el diámetro final de la paca es el máximo de la cámara, la propia paca ejercerá presión sobre la compuerta trasera. Algunos modelos incluyen pestillos para asegurar que no se abra el portón cuando se ha alcanzado el diámetro y presión máximos. En ese momento un indicador visual en una zona de la empacadora visible desde la cabina del

Figura 5. Esquema de la formación de la paca en las rotoempacadoras de cámara variable. Fuente: Ctaas.

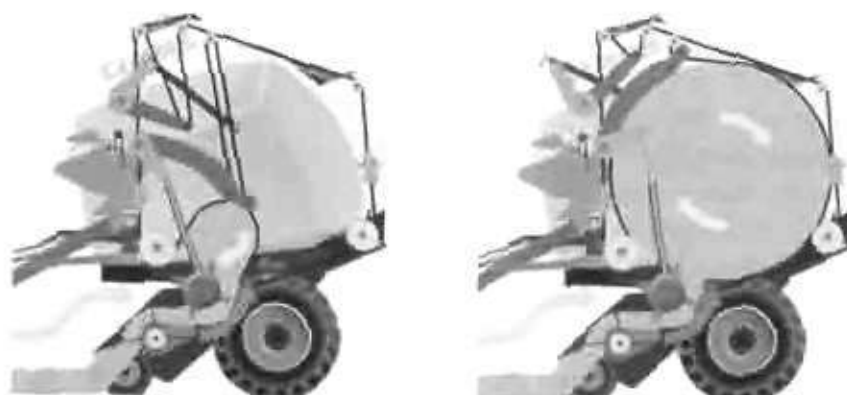


Foto 8. Detalle de las barras en la cámara de empacado de una rotoempacadora.



Foto 9. Rotoempacadora de rodillos. Fuente: Vicon.



tractor, o un avisador luminoso o acústico en la propia cabina, indicará que el proceso de empacado ha concluido. El atado se iniciará entonces de forma automática. El tractorista deberá detenerse hasta que dicho atado concluya, de forma que no entre nuevo material a la cámara. En la mayoría de los modelos se dispone de atado mediante hilo y mediante film plástico cuya selección se hace manual o automáticamente. Una vez terminado el atado se abrirá la compuerta y un eyector de pacas con resortes facilitará el depósito

de la paca sobre el suelo (Foto 11).

La potencia hidráulica necesaria se obtiene a través de los servicios externos del tractor. Por lo general, el aceite que se va desalojando retorna al depósito directamente, de forma que se evita el recalentamiento de los elementos de dichos servicios. Muchos de los actuales modelos de tractor incorporan válvulas específicas en su depósito donde hacer fácilmente el ensamblado del retorno. En otros casos, el taller o el concesionario pueden llevar a cabo la adecuación del tractor.

CONSIDERACIONES COMUNES A MACROEMPACADORAS DE PACAS PRISMÁTICAS Y A ROTOEMPACADORAS

A continuación se tratan algunos aspectos y elementos comunes a las macroempacadoras de pacas prismáticas y a las rotoempacadoras.

La forma de la paca y la distribución regular del material en todo su volumen dependen fundamentalmente de los dispositivos de recogida del forraje del suelo y de los elementos que lo introducen en la cámara de empacado. Los conocidos "pick-up" presentan un molinete de púas en toda su longitud, que va desde 1 m hasta casi los 2.5 m. Para asegurar el llenado de los laterales de la paca podemos disponer de unos cortos sinfines a ambos lados del pick-up. El deflector superior asegura y homogeniza la entrada de material. Podemos encontrarlo de barras, de rodillo o de placa, éste último aconsejable cuando se trabaje con hierba corta, hileras de paja muy anchas o heno muy seco. La adaptación a las irregularidades del terreno se consigue mediante ruedas palpadoras y elementos de flotación que consisten en muelles o cilindros hidráulicos situados a ambos lados del pick-up (Foto 12).

Para la alimentación de la cámara encontramos dos sistemas diferenciados, que dependerán del destino final de la paca. Por un lado tenemos horquillas alimentadoras de dedos de acero que acarrearán el material tal cual es recogido en las rotoempacadoras. Por otro, un rotor alimentador con placas en punta distribuidas en forma de W para producir una alimentación más uniforme, consigue mayor capacidad de alimentación y puede estar presente tanto en macroempacadoras de pacas prismáticas como en rotoempacadoras (Foto 13). En este caso es posible la incorporación de una serie de cuchillas por las que las placas en punta obligan a pasar el material produciéndose su picado simultáneamente al acarreo. Las cuchillas pueden activarse o desactivarse individualmente para seleccionar distintas longitudes de picado. Cuando estén desactivadas es recomendable que se instalen cuchillas especiales, sin acción cortante, cuya misión es evitar que el material se pierda por el hueco dejado por las anteriores. La posibilidad de invertir el sentido de giro o de abrir la mesa inferior es aconsejable en cualquier modelo

Foto 10. Rotoempacadora de cintas. Fuente: Claas.



Figura 6. Esquema de rotoempacadora con combinación de rodillos y cintas. Fuente: New Holland.

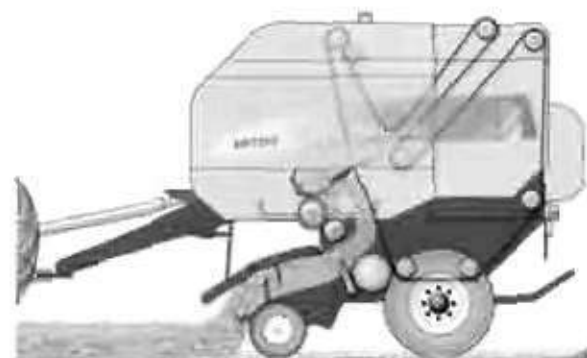
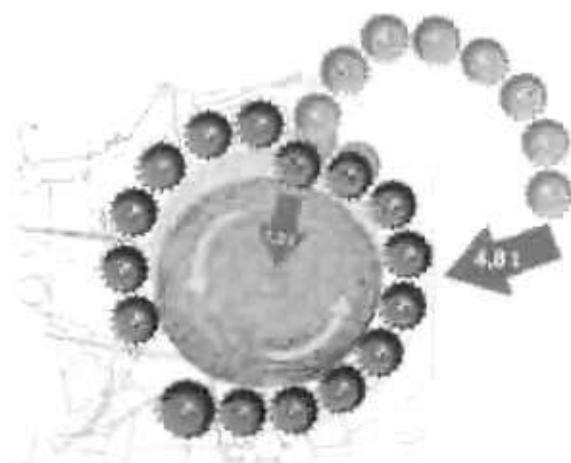


Figura 7. Esquema de rotoempacadora con una pareja de rodillos basculantes. Fuente: Claas.



ya que facilitará la eliminación de elementos extraños y la subsanación de los posibles atascos.

Algunas de las principales innovaciones introducidas en estas máquinas buscan el aumento de su capacidad de trabajo, lo que se consigue aumentando el flujo de producto hacia la cámara de empacado. Así, es habitual

Foto 11. Ejector mecánico en rotoempacadora.
Fuente: Krone.



Foto 12. Detalle del sistema recogedor de una macroempacadora de pacas prismáticas. Fuente: New Holland.

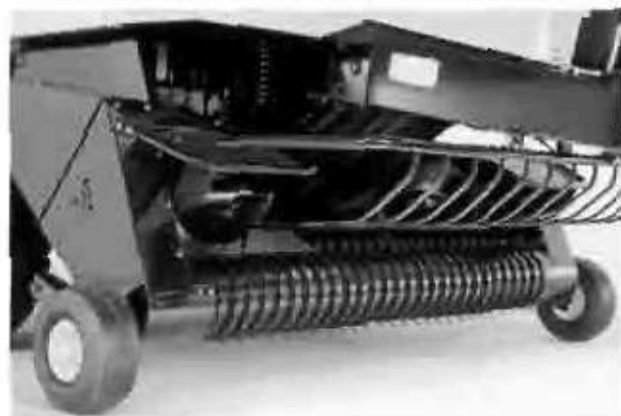


Foto 13. Detalle de las púas del pick-up, los tornillos sinfin, el rotor de alimentación y las cuchillas de picado. Fuente: New Holland.

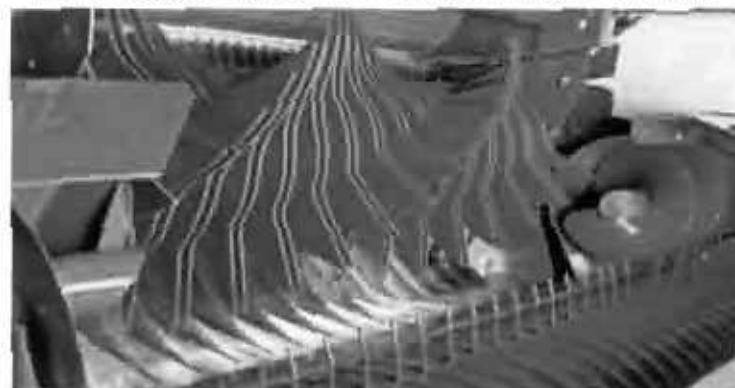


Foto 14. Consola de información y control en la cabina del tractor. Fuente: Claas.



►►► que en estas máquinas los sistemas de picado (Foto 13) ofrezcan dispositivos con mayor número de cuchillas para obtener longitudes de picado mínimas de 40 mm, pudiendo llegar a 20 mm en algunos modelos, lo que además de favorecer la palatabilidad del producto permite aumentar su flujo. Asimismo, se encuentran máquinas que implementan también la posibilidad de aumentar la velocidad de alimentación del tornillo sinfín y/o la velocidad de giro de los rotores de alimentación.

Los sistemas de lubricación automáticos, que facilitan el lubricado de los elementos que lo requieren, principalmente rodamientos y cadenas, son prácticamente un estándar en el equipamiento de las macroempacadoras de alta gama, lo que supone una disminución drástica de los tiempos de mantenimiento de la máquina.

Como sucede en otras máquinas de alta gama, cada vez son más las regulaciones que pueden realizarse desde la cabina y la información que se puede recibir y almacenar mediante sistemas electrónicos de información y control (Foto 14). A través de consolas y pantallas se pueden controlar y conocer el estado de diferentes parámetros de la máquina: atado, picado, conteo de pacas, alarmas de

sobrecarga y rotura o final de hilo, presión de las pacas, medida de humedad de las pacas, peso de las pacas, engrase automático, etc. Algunos modelos ofrecen la posibilidad de conectar una cámara que permite la visualización de la parte trasera de la máquina, facilitando la supervisión de la expulsión de la paca y la conducción del conjunto tractor-empacadora. Los fabricantes están ya incorporando a sus máquinas el sistema Isobus, estándar de comunicación digital que permite el control de la empacadora a través del monitor que incorpore el tractor sin más que un simple conector de enganche entre tractor e implemento. Sistema que se impondrá en un futuro próximo facilitando la comunicación entre máquinas agrícolas y tractor independientemente de la casa fabricante.

BIBLIOGRAFÍA

- Anuario de Estadística Agroalimentaria MAPA 2007.
- Catálogos Comerciales: Massey Ferguson, Vicon, Claas, New Holland, Case, Weiger.
- Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación, J. Ortiz-Cañavate. Ediciones Mundiprensa. 2003.
- Maquinaria de Recolección de Forrajes, P. Linares, J. Vázquez. Ediciones Mundiprensa. 1996.
- Maquinaria para la Recogida y el Manejo del Forraje, L. Márquez. B&H Editores, 1999.