

Título del libro

Compactación y descompactación de suelos
Problemas y soluciones en los sistemas agropecuarios actuales

DESCOMPACTACIÓN MECÁNICA DEL SUELO

Tal como se ha explicado anteriormente, los procesos de degradación física del suelo conllevan asociados riesgos de consolidación y compactación del mismo que limitan el normal desarrollo de los cultivos. También es ampliamente conocido, que existen diversas estrategias y metodologías para su prevención y eventual solución. La mecanización agrícola aporta en este sentido, distintas alternativas según sean las características que presenta el terreno, la profundidad en la cual se encuentra la zona compactada, el desarrollo y la severidad del proceso. No obstante ello, debe quedar en claro que la intervención a través del laboreo del terreno para , eliminar, disminuir, atemperar o tratar de solucionar sus efectos adversos, debe constituir en lo posible la última opción, cuando el problema se encuentra claramente identificado y analizadas las posibles consecuencias de la intervención mecánica, consensuando además las acciones posteriores.

En alguna medida, las acciones de descompactación pueden ser comparadas con las decisiones de realizar una cirugía en el reino animal. No se operan todos los problemas; por lo general, se establecen diferentes acciones y terapias para su solución. Normalmente “se opera” cuando el problema no puede ser resuelto de otra manera y los riesgos son lo suficientemente altos para la continuidad de la vida, en nuestro caso del sistema productivo. En el mismo sentido, la operación será tanto más riesgosa cuanto más invasiva, profunda, resulte. Asimismo, los procesos de compactación más sencillos de solucionar serán los de carácter superficial, mientras que los de mayor profundidad serán siempre más costosos y los resultados menos precisos, seguros, durables y de mayor costo

Zonas compactadas

Si bien existe una enorme diversidad de situaciones de degradación-compactación de suelos, las mismas para su análisis y solución podrían reducirse según se ha explicado anteriormente a tres niveles, en acuerdo con la figura 1

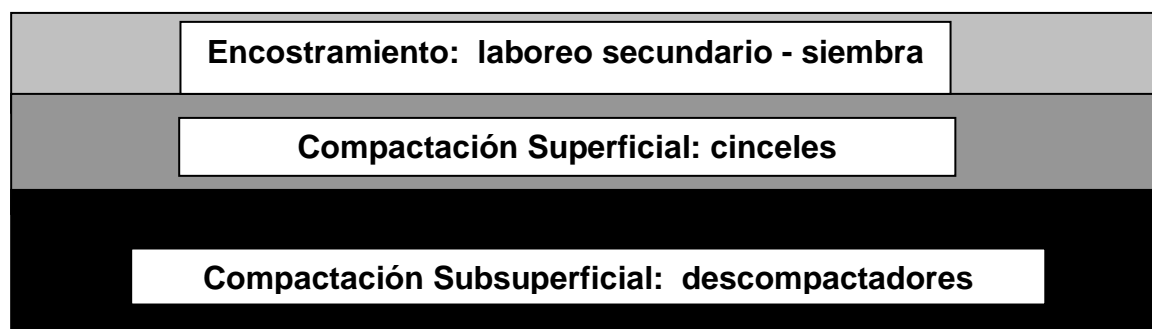


Fig.1 Situaciones de degradación-compactación y su remediación mecánica

El encostramiento es, seguramente, la problemática más conocida por parte de los agricultores que producen al aire libre, fuera de los invernáculos, como producto de precipitaciones ocurridas próximas al momento de siembra o implantación

IMPLANTACIÓN DE LOS CULTIVOS

El trabajo con implementos de labranza secundaria, rastras de discos, de dientes y trabajos con rotativas o fresadoras, es la manera que, por lo general, se utiliza para poder recomponer temporalmente una estructura del suelo que permita la siembra de las especies hortícolas, su germinación y emergencia o la implantación de las especies transplantadas. El trabajo de dichos implementos, a nivel superficial, no ocasiona mayores inconvenientes para los productores y operarios, pero sí tiene consecuencias físicas a nivel del suelo. En dichas condiciones, suelos blandos y húmedos por debajo de la superficie de la costra, predisponen riesgos de compactación del sustrato muy altos como resultado de pasajes posteriores de conjuntos tractor-implementos.

Es conocido que los tractores suelen ser de escaso peso (masa), y por lo tanto se puede esperar que los daños en cada pasaje sean de no muy alta magnitud, pero resulta menos claro para los productores que el pasaje repetido en una misma senda incrementa la magnitud del daño, como así también la profundidad a la que el mismo se produce, pese a que los mayores perjuicios se registren a nivel superficial. A ello colabora que los tractores usados a nivel hortícola no poseen neumáticos con una adecuada superficie de apoyo, dadas las restricciones que se imponen, principalmente en el ancho de la banda de rodamiento, como consecuencia de los sectores disponibles para el tránsito, una vez que se establecen los surcos de cultivo.

Por lo expuesto, no se encuentra en las producciones hortícolas uno de los factores principales para ocasionar en un solo pasaje compactación a nivel subsuperficial tal como es superar una carga por eje mayor a los 4 a 5 Mg. Sin embargo, el trabajo de máquinas agrícolas y el tránsito de tractores sobre suelo desnudo, y muchas veces húmedo, el pasaje repetido en una misma senda, la escasa superficie de contacto rueda suelo, neumáticos con carcasa diagonal, excesivas presiones de inflado, constituyen un conjunto de elementos capaces de generar problemas severos de compactación a nivel superficial, en el corto plazo, y a nivel subsuperficial en el mediano y largo plazo.

Para aliviar los inconvenientes de este tipo de compactación inducida por tránsito y trabajo con máquinas, suelen utilizarse escarificadores de cinceles y subsoladores, que requieren de algunos conocimientos básicos para su correcta operación y regulación, para alcanzar adecuados niveles de prestación energética y agronómica.

En forma preliminar, es posible establecer que los subsoladores, como su nombre lo indica, son los implementos adecuados para la roturación de capas compactadas en profundidad. Dentro de este tipo de aperos, algunos diseños presentan diferencias en los montantes y órganos activos que les otorgan distintas aptitudes y características de trabajo del suelo.

Por lo contrario, los escarificadores de cinceles solamente resultan adecuados para el fracturamiento de estratos del terreno a nivel superficial, siendo necesario establecer las características de la capa compactada para decidir si es posible la utilización de montantes flexibles (procesos de compactación leves, muy superficiales o incipientes) o rígidos (compactaciones de mayor importancia, piso de arado).

Las razones de esta diferenciación será analizada posteriormente, a partir del conocimiento de algunos aspectos de diseño y ensayos experimentales realizados en diversas condiciones de suelo.

LABRANZA VERTICAL: CINCELES Y SUBSOLADORES

La labranza vertical del suelo es una denominación habitual en la República Argentina, de un conjunto de labores que se llevan a cabo mediante el uso de

escarificadores, que abarca desde implementos para laboreo primario como de laboreo secundario del suelo agrícola. Esta particular denominación hace referencia principalmente a la posición de los principales órganos activos en el suelo, más que a los efectos de roturación que se realiza sobre el mismo. Muchas veces, se ha indicado que el trabajo de escarificación por parte de las máquinas agrícolas se corresponde con el corte vertical del suelo, a diferencia de los arados que efectúan un corte horizontal y vertical del terreno con una inversión parcial del mismo. Sin embargo, los escarificadores utilizados en la agricultura para el laboreo primario del suelo, la descompactación de estratos a nivel subsuperficial o preparación de la cama de siembra no realizan principalmente un trabajo de corte vertical del terreno. Por lo contrario, cuando algún escarificador efectivamente realiza un corte vertical del suelo, seguramente no está haciendo un trabajo adecuado, no cumple con los objetivos de labranza formulados y, posiblemente, esté generando problemas no previstos y mayores costos inútiles.

Más allá de los términos y denominaciones, estas clasificaciones sirven usualmente para el entendimiento y diferenciación de aperos, en acuerdo con los principios de roturación, los objetivos de labor y los efectos sobre características físicas, mecánicas y agronómicas del suelo agrario. Tal es así que, a nivel técnico y en el ámbito productivo, a los cinceles, en muchas de sus variantes, se los conoce como arados de cinceles. A implementos que presentan similares órganos activos (rejas) y montantes (arcos, timones), de menor tamaño que los de los cinceles, usados para el laboreo secundario del suelo se los conoce como cultivadores de campo o cultivadores de rastros. A veces, se identifica a los órganos de trabajo en forma genérica como dientes, involucrando en este concepto a montantes y rejas

En definitiva, más allá de sus nombres técnicos o vulgares, se tratará de informar, explicar, analizar y alcanzar conclusiones sobre los principios de trabajo, características de diseño y efectos sobre el suelo de los implementos utilizados en la "labranza vertical del suelo", independientemente de su clasificación y denominación, técnica o común. Sin desconocer la conveniencia del uso de una determinada denominación técnica, de adherir en mayor o menor grado a algún principio de clasificación, en el desarrollo de los diferentes aspectos se utilizará en forma alternativa el término escarificadores o arados. Tal vez lleve en parte a confusión, pero como dice un viejo refrán "el que avisa no traiciona". En función de encontrar los mejores canales de comunicación para un lector, es que se recurrirá a los términos, palabras, sinónimos y expresiones que en cada caso mejor expresen el concepto.

Principales características de la labor con escarificadores de cinceles y descompactadores

Cuando un diente de un escarificador rompe el suelo trabajando a una profundidad determinada, el área afectada así como la resistencia ofrecida son función de las variables mecánicas del suelo. En este sentido durante los últimos cuarenta años se han venido sucediendo una serie de teorías que tratan de explicar el proceso de rotura del suelo en diferentes estados y con distintas herramientas.

Los primeros estudios de la rotura del suelo bajo la acción de empuje con una superficie vertical rectangular de muy poca anchura, denominan "diente" a toda aquella superficie rectangular en la que la relación entre la profundidad de trabajo y su anchura es mayor que 1, diferenciándola de una reja o una hoja empujadora. Llamen "reja" u "hoja empujadora" a los implementos en que la superficie del órgano activo tiene una relación entre la profundidad de trabajo y el ancho es menor que 0,5. Curiosamente, algunos de los órganos activos que comúnmente son conocidos como rejas de cincel o subsolador serían según esta clasificación "dientes". Las observaciones, realizadas en un canal de tierra conteniendo arena húmeda, pusieron de manifiesto que al desplazarse un diente en el terreno la rotura del suelo se producía tras la sucesión de varias etapas consecutivas. En primer lugar, y tan sólo después de que el diente se ha desplazado unos pocos centímetros

(2,5 cm) aparece en la superficie del suelo una zona abultada semicircular. Cuando el desplazamiento es algo mayor se forma una grieta que envuelve a toda la zona abultada y que termina en la pared del propio diente. Si el desplazamiento del diente es aún mayor, 5-6 cm. Aparece, en el interior de la zona anterior, otra zona perfectamente delimitada por dos grietas que partiendo de ambos lados de la pared del diente convergen por delante de la misma a la altura de su punto central (fig.2).

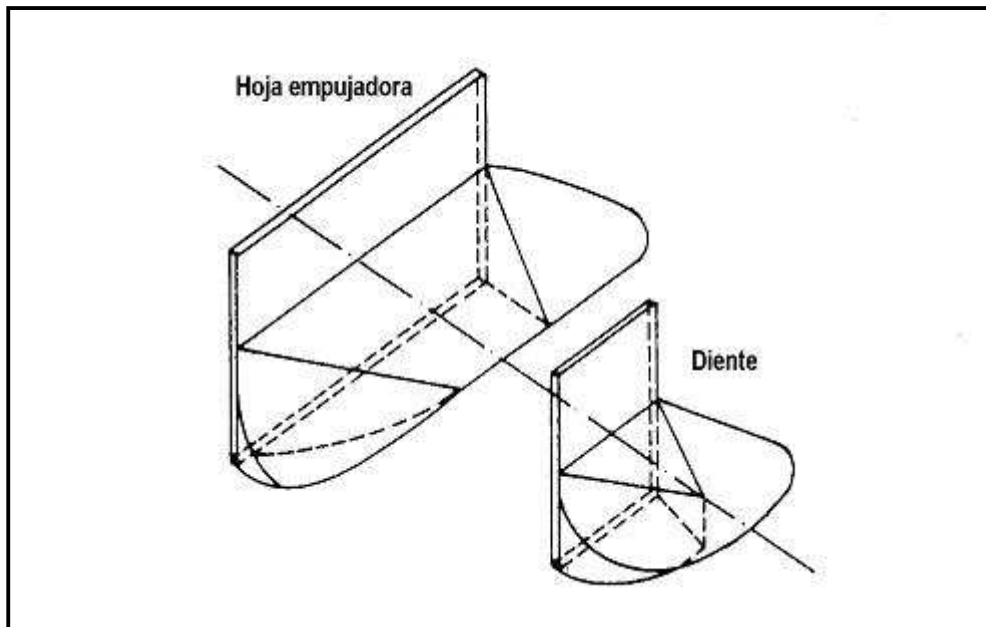


Fig: 2 Perfil de rotación de suelo al pasaje del órgano activo

Se forma así una cuña de tierra que se comporta como si fuera parte integrante del diente. A medida que el diente avanza en el terreno, la cuña de tierra va cortando al suelo a la vez que lo desplaza lateralmente y hacia arriba. La porción inferior de la cuña tiene forma circular (fig. ¿??), de suerte que ella misma va ascendiendo por la pared del diente y acaba desmoronándose cuando no es capaz de soportar su propio peso. La cuña no desaparece porque va tomándose continuamente con la tierra que recoge la base del diente. Esta forma básica de rotura del suelo también se observa en el campo aunque con más dificultad y con algunas diferencias motivadas por la presencia de terrones y agregados. Si la resistencia de los terrones o agregados es mayor que la de la masa de suelo, las grietas se forman entre los terrones y no aparecen tan nítidamente semicirculares como en el caso anterior.

Posteriormente, fueron identificados los principales factores que permitían predecir el comportamiento energético de los implementos con dientes, los cuales eran el Peso específico del suelo, el Ángulo de rozamiento interno, la Cohesión, el Ángulo de rozamiento metal suelo, el Coeficiente de adherencia metal-suelo, el Ángulo de ataque de la herramienta, la Sobrecarga del suelo sobre el diente, la Profundidad de trabajo y el ancho del diente como los de mayor importancia.

Cuando el ancho del órgano activo es la tercera o cuarta parte de la profundidad de trabajo, el modelo de rotura del suelo cambia en relación al caso anterior, ya que existe una alteración lateral al diente además de la formación de una cuña de tierra justo delante de la herramienta. A este tipo de aperos se los denomina "de dientes estrechos". La totalidad de los aperos de labranza vertical se corresponde con este tipo de implementos, de "dientes estrechos" en su configuración básica original. Sin embargo, dada la versatilidad que presentan, también pueden montarse rejas para cumplir con distintos objetivos de labor y / o adaptarse a diferentes condiciones de trabajo. En la figura 3 se muestra un arco flexible con

una púa (reja, diente) convencional. Queda claro, que no existe ninguna parte del órgano activo que corte el terreno, en forma vertical. No existe ningún elemento afilado para cumplir dicha acción. Por lo tanto, el suelo no es cortado por los escarificadores sino sometido a una presión, tensión por una superficie relativamente larga y estrecha (diente, reja, púa), a la cual se ofrece una resistencia mayor o menor según el tipo y estado del terreno. Superada dicha resistencia del suelo, se podría explicar en una forma sencilla, el suelo “estalla”, se fractura y desagrega de una forma compleja que se analizará posteriormente. En condiciones de suelo firme, compactado, poco húmedo a seco, todos los aperos de labranza vertical, cinceles y descompactadores trabajan de la misma forma y roturan el suelo bajo el mismo principio.



Figura: 3 arco flexible con reja convencional reforzada

Arado de cincel o escarificador de cinceles

Dentro del amplio espectro de aperos para labranza primaria del suelo, los escarificadores surgieron como una alternativa, frente a los arados de vertedera y de casquetes (discos) para su inclusión en sistemas de laboreo de conservación. Se trata de aperos de labranza cuyas herramientas de trabajo son dientes, o rejas, montados sobre brazos flexibles o rígidos, los cuales fragmentan el suelo con formación de grandes fisuras y tierra fina, con escasa inversión y poca translocación de los estratos del terreno. El perfil del suelo trabajado por este implemento, como consecuencia de la forma de roturación del terreno, genera, en condiciones de trabajo adecuadas, una importante disminución de la densidad aparente del suelo, un espacio poroso importante para almacenar el agua de lluvia, no favoreciendo además la formación de piso de labor semejante a los ocasionados por los arados de vertedera y disco. Esto se debe a que la relación entre la superficie de la herramienta de trabajo, y la fragmentación en el suelo es mucho más pequeña en el arado de cinceles que en los arados convencionales. Podría expresarse esta idea, entendiendo, como se explicó anteriormente, que el suelo es roturado hacia arriba, adelante y hacia los costados de la reja. La fracción de suelo labrada es ampliamente superior a la superficie de la reja, por lo cual los llamados efectos laterales son normalmente 4 veces mayores que la misma.

- Ventajas del arado de cincel:

Los escarificadores de cinceles presentan una serie de ventajas operativas que favorecieron su rápida difusión en el mundo a partir de la segunda mitad del siglo XX, mientras que en la República Argentina, su expansión en las ventas se registró alrededor del año 1970, aproximadamente. En este sentido, Maroni (1990) analizó la evolución en el mercado de los equipos de labranza vertical sobre los implementos de labranza convencional. Tomando como base 100 las ventas de arados de reja y vertedera, encontró que el porcentaje para los equipos de labranza vertical evolucionó del 13% en 1976 al 59% en 1983, 125% en 1986 y 180% en 1989.

Esto pone en evidencia un claro desplazamiento de las máquinas convencionales de labranza, arados de vertedera, arados rastras y arados de casquetes, principalmente en la región pampeana, durante aproximadamente una década, que posteriormente decayó, encontrando un equilibrio con la utilización complementaria con rastras de discos de doble acción. Esta disminución del uso de escarificadores de cinceles puede asignarse en parte por las limitaciones encontradas para el laboreo en diferentes tipos y estados del terreno que determinaron la introducción y desarrollo de distintos órganos activos que, colocados sobre un mismo arco, permitieran incrementar la oportunidad de labor. Pese a ello, muchos de los mismos no resultaron mayormente difundidos y adaptados debido a la inadecuada caracterización y determinación de su prestación. (Balbuena, et al., 1992 a). No ocurrió lo mismo en las explotaciones intensivas, donde nunca alcanzaron similar difusión, pese a no favorecer, por la forma de roturación del suelo la formación de "piso de arado", ni compactación, siempre que se atiende a recomendaciones de uso elementales.

En un análisis general de las causas de su rápida aceptación por parte del mercado y de los usuarios de máquinas agrícolas, pueden enunciarse lo siguiente:

-Los escarificadores son implementos agrícolas que presentan órganos activos por lo general simples, simétricos, o que pueden disponerse sobre el apero de forma tal que presenten **simetría lateral**, tomando como referencia el plano medio del mismo paralelo a la dirección de avance del conjunto tractor-implemento.

Esto implica que el mismo no sufra mayores desviaciones laterales, producto de las fuerzas generadas por el suelo sobre los órganos activos, puesto que las mismas se producirán en dirección contraria al avance del tractor. En el caso de órganos activos asimétricos, los mismos pueden disponerse de forma tal que las componentes del esfuerzo de tracción en el plano transversal a la dirección de avancen se compensen. Las ventajas comparativas con otros aperos se producen principalmente en la simplicidad de regulación y desplazamiento del conjunto tractor apero. En virtud de ello, el sistema de enganche puede simplificarse, en los equipos de arrastre, utilizándose principalmente el tipo "lanza", fija o articulada, puesto que el mismo deberá resolver básicamente el vínculo con el tractor y la nivelación del equipo en el plano longitudinal. Asimismo, en los equipos montados, no es necesario contar en el equipo con un eje acodado, spin o cigüeña en el vínculo de los dos brazos inferiores, ya que no existirán esfuerzos laterales que tiendan a desplazar el equipo, realizándose las regulaciones de nivelación sobre el brazo inferior derecho y el brazo superior del enganche de 3 puntos del tractor.

-El **ancho de corte o trabajo** de los escarificadores es habitualmente variable, con amplios márgenes que permiten adecuar en mejor medida que otros aperos de labranza los requerimientos energéticos con la potencia disponible en el tractor. Esta variación del ancho de labor suele realizarse a través de la adición o quita de sectores de bastidor, suplementos, como así también a partir de la modificación de la distancia entre arcos (líneas de acción de los dientes o rejas sobre el terreno. No obstante lo expuesto, en cualquier caso los escarificadores permiten sacar o adicionar arcos para adecuar los requerimientos y conformar armónicamente el conjunto, de una manera fácil, puesto que habitualmente la

fijación del arco a la estructura del bastidor se efectúa por medio de grampas roscadas o piezas de vinculación tomadas con 3 ó 4 tuercas, de fácil operación. También ha sido difundida, la posibilidad de quitar o adicionar sectores de bastidor, lo cual amplía los márgenes de trabajo en cuanto a las posibilidades de modificación del ancho de labor. En todas las configuraciones debe tenerse en cuenta la necesidad de cubrir la trocha del tractor (ancho de pisada) para evitar que en las pasadas subsiguientes se pise la zona ya trabajada por el implemento.

-Versatilidad para intercambiar órganos activos. Existen a nivel comercial un conjunto de órganos activos posibles de colocar sobre un mismo montante, los cuales pueden removerse con suma facilidad. La forma de sujeción de los órganos activos al arco es mediante 2 bulones de cabeza fresada. La medida que existe entre los agujeros que se encuentran sobre el arco está normalizada, por lo cual no existen problemas de incompatibilidad entre las distintas rejas de diferentes proveedores. Los diferentes órganos activos permiten cumplir con diferentes objetivos de labranza, en algunos casos, como así también la mayor o menor adecuación de los escarificadores a diferentes condiciones de laboreo.

- Bajo costo de adquisición por unidad de ancho de labor. Si bien el costo total de los escarificadores modales no es bajo, al calcular el costo por metro de ancho de labor, el mismo es reducido comparado con otros implementos de labranza primaria. Por un lado, la penetración de los escarificadores es por succión, por lo cual no requieren un peso/órgano activo elevado para alcanzar las profundidades habituales de labor. A ello se suma la simplicidad de las estructuras de soporte y las características de los montantes del tipo flexible. Asimismo, los mecanismos de elevación, descenso y regulación de la profundidad de trabajo del apero se resuelven habitualmente, en los equipos de arrastre, a partir de un único eje acodado sobre el cual se montan 2 o 4 ruedas, según el ancho de labor del implemento. En forma opuesta, en los equipos montados usados en horticultura, los cinceles suelen presentar un par de ruedas de apoyo, que encarecen, en alguna medida su costo. Esto se debe a la variabilidad del esfuerzo de tracción que dificulta el trabajo del sistema hidráulico en control de carga, de no contar con un apoyo que limite en algún momento la profundidad. A modo de resumen, es una máquina con poco costo de materia prima, acero, como así también de diseño sencillo y por lo tanto, de relativamente bajo costo total.

- Baja energía requerida por metro de ancho de labor. Si bien se menciona habitualmente que los escarificadores requieren bajos esfuerzos de tracción/m de ancho de trabajo, la resistencia específica al laboreo no mantiene las mismas características. Sin embargo, cuando no resulta necesario alcanzar una profundidad de trabajo homogénea del perfil, los esfuerzos traccionales totales serán reducidos, permitiendo alcanzar de dicha forma una elevada capacidad de trabajo del conjunto.

Elementos del arado cincel

a) Arcos

En relación con los arados de cinceles, existen básicamente 2 tipos de arcos sobre los cuales se ubican los órganos activos. Por un lado, los de mayor difusión en la República Argentina, con montantes del tipo flexible, a los cuales se los ha denominado usualmente cinceles o arado de cinceles. Por otra parte, de menor inserción en este mercado, pero usuales en EEUU, se encuentran los cinceles de montantes rígidos. En estos tipos, no existen mayores diferencias en los aspectos básicos de diseño, como ser el radio o radios de curvatura de los arcos que determinan el ángulo de ataque de las rejas que sobre ellos se colocan.

Las diferencias fundamentales se encuentran en los materiales utilizados para su construcción. La flexibilidad de los arcos se alcanza en función de las aleaciones en base a

romo, vanadio y molibdeno, las cuales permiten otorgar las características indicadas. La mayor o menor proporción de los elementos mencionados incide sobre las características de las vibraciones de los arcos, en cuanto a magnitud y frecuencia. A ello contribuye también la sección de los mismos. El equipamiento estándar se puede caracterizar por un ancho de 50,8 mm y un espesor de 25,4 mm (2" por 1"). Como equipamiento opcional, se ofrecen arcos de igual ancho pero con espesores de 1 ¼" o excepcionalmente de 1 ½". El mayor espesor de los arcos contribuye a una mayor rigidez del conjunto de órganos activos (arcos - rejas) lo cual determina variaciones en las características de las vibraciones que se producen en la interacción con la resistencia del suelo. También se difundió la colocación de sobreactos (de similares características que los arcos utilizados) en el sector recto de vinculación al bastidor y el primer sector curvo cercano al mismo, en número de 2 ó 3 elementos. En estos casos, alguno de los sectores yuxtapuestos cubrían todo el sector curvo del montante salvo el que brinda sujeción a la reja (Fig. 4)



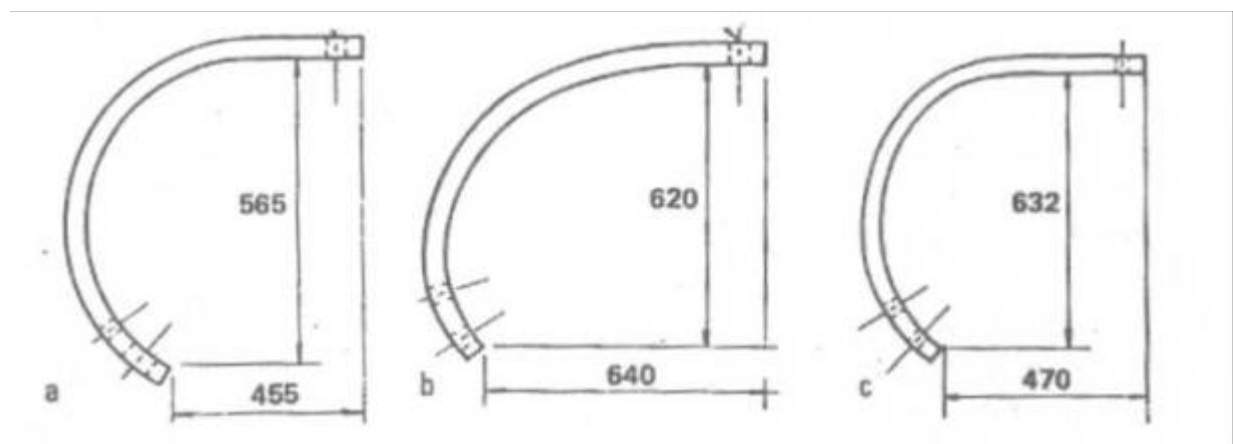
Fig. 4. Arco de escarificador flexible con 2 sobreactos de refuerzo para lograr mayor rigidez al conjunto.

Estos diseños, aportan mayor rigidez y durabilidad al conjunto, mostrando mayores aptitudes cuando los cinceles de arcos flexibles deben desempeñarse con altos esfuerzos de tracción. No obstante ello, dado que en los mismos no cambian las medidas de despeje o luz libre, no resultan adecuados para trabajos de descompactación profunda, quedando limitados por lo expuesto, habitualmente, a trabajos de roturación en los primeros 0,30 m de profundidad.

En lo que respecta al efecto que ocasiona las vibraciones de un montante flexible, en situación de trabajo, hay que dejar claro que las mismas no contribuyen a la roturación de los agregados, como erróneamente suele creerse. Los arcos flexibles, que se utilizan en nuestro país, suelen movilizarse en forma anteroposterior, ante esfuerzos traccionales importantes, con una amplitud y frecuencia que no favorece al fraccionamiento de los agregados. Para que un órgano activo fracture un agregado por vibración ésta debe ser de escasa amplitud y alta frecuencia, condiciones diametralmente opuestas a las que se verifican en los cinceles de uso modal en nuestro país. De hecho, los estudios realizados sobre la frecuencia de vibración de las rejas, que conduce a una reducción del esfuerzo de tracción, indican que la misma se encuentra en estrecha relación con la frecuencia de rotura del suelo, debiendo alcanzar las vibraciones de los órganos activos una frecuencia entre 2 y 2,5 veces mayor que la de rotura del suelo. Dichos trabajos de investigación, llevados a cabo con rejas instrumentadas establecieron que la frecuencia varía con la profundidad de trabajo, el estado de humedad del suelo y la velocidad de labor. Por lo tanto, sería difícil alcanzar un diseño de órganos activos que puedan adaptarse a los diferentes tipos y

estados del suelo, como a la multiplicidad de situaciones que llevan implícitas las variables operativas mencionadas.

Otra variable en el diseño de los arcos, se corresponde con los diferentes radios de curvatura que pueden presentar los mismos. Habitualmente, se encuentran arcos de 1, 2 ó 3 radios de curvatura (Fig. 5). Los más difundidos entre estos tipos han resultado los de 1 radio de curvatura y los de 3 radios de curvatura. No existen mayores antecedentes de las mejoras o ventajas operativas de los diferentes tipos. En general, ambos poseen un radio similar en el sector donde se ubican las rejas del escarificador, el cual determina el ángulo de ataque de las rejas. En cuanto a los efectos operativos, en la medida que el despeje no resulte limitante, pareciera que los arcos de un radio presentan una menor tendencia a los problemas de atoraduras, desplazando lateralmente los residuos vegetales en la medida que los mismos se van elevando. Los de tres radios de curvatura, a las profundidades habituales de labor, parece que presentan mayores dificultades con el manejo de los residuos, a las profundidades habituales de labor con estos implementos.



a) Un radio

b) Dos radios

c) Tres radios

Figura 5: Esquema de los tipos de arcos flexibles más difundidos

En cuanto a los cinceles de arcos rígidos, ver figura 6, generalmente presentan una sección frontal más reducida y una sección lateral de mayor desarrollo. A partir de estas características, puede deducirse que la fracción de suelo inmediatamente por delante de la reja no tiende, como es frecuente en los cinceles de 2 " de sección frontal a elevarse siguiendo el arco para luego caer, lateralmente, produciendo un enterrado de residuos variable según diferentes cuestiones operativas.



Figura 6 : Escarificador de arcos flexibles Figura 6 : Escarificador de arcos rígidos

Al resultar menor la sección en los rígidos, la elevación es menor, como así también resultan los desplazamientos laterales del terreno.

Los cinceles de arcos flexibles se montan sobre el bastidor de diferentes formas, pero las mismas permiten, cualquiera sea el tipo, su desplazamiento sobre el bastidor, como así también su remoción o eventual ubicación en otro plano de acción, a los efectos de alcanzar distintas configuraciones espaciales, que permitan su adecuación a las condiciones de trabajo en las que deberá desempeñarse. Los vínculos más simples del arco con el bastidor son a partir de 2 planchuelas y tornillos o grampas roscadas que sujetan al montante contra la sección inferior del bastidor. En estos sistemas, las planchuelas suelen presentar un orificio, al igual que los arcos, por lo cuales se ubicará un perno fusible, que tiene por función tanto fijar el arco en una posición determinada, evitando el desplazamiento antero-posterior, como así también las sobrecargas y eventuales roturas o deformaciones en plazos relativamente cortos. En los mismos, resulta importante la reposición del perno fusible por uno de idénticas características cuando el mismo se rompe, puesto que de no ser así, se facilitará la rotura del montante o se producirán frecuentes detenciones del trabajo por falla reiterada de los pernos.

Otro sistema de vinculación del montante al bastidor, se efectúa mediante una articulación y un pasador. El conjunto, se encuentra, unido a un resorte, cuya misión principal es la de actuar como mecanismo de seguridad, permitiendo el desplazamiento hacia atrás y hacia arriba, cuando la resistencia del terreno alcanza valores de esfuerzo que superan la tensión de los resortes. Por lo tanto, la regulación de dicha tensión resulta importante para la vida útil del arco y la reja. No obstante ello, cuando la misma no es la adecuada, estos resortes absorben todos los impactos y vibraciones de carga que se generan en el suelo. Este proceso, cuando es continuo, termina produciendo un desgaste acelerado del mecanismo en su conjunto, sin que realmente tenga beneficios en el laboreo del suelo.

El radio del tramo circular, correspondiente al sector de fijación de la púa, ha de ser un 20-25% superior a la profundidad máxima de trabajo a fin de que al ascender la tierra por el diente y posteriormente siguiendo la curvatura del brazo, no se produzca el efecto compactador que ejerce la parte superior del tramo circular del mismo, empuje en la dirección de avance y dificultades con el movimiento de los residuos. En acuerdo con ello, los ángulos de ataque utilizados en escarificadores de cinceles de arcos flexibles varían habitualmente entre 20 – 25° y 40-45° con respecto al plano horizontal.

Cuando se utilizan los menores ángulos de ataque (20-25°) se logra un tipo de trabajo que combina mayor área trabajada con la menor resistencia ofrecida por el suelo (baja resistencia específica al laboreo). Con ángulos de ataque comprendidos entre 40 y 50°, además de incrementarse la resistencia del terreno, se produce a veces el efecto de disminución del área trabajada, incremento del desmenuzamiento de los agregados y de la resistencia específica. Lamentablemente, en los cinceles con arcos flexibles predominan ángulos de ataque cercanos y a veces superiores a 40°, que se incrementan rápidamente ante elevados esfuerzos de tracción.

Los cinceles de arcos rígidos se caracterizan por poseer la combinación de dos tramos rectilíneos que terminan en un diente robusto fuertemente fijado al brazo (ver figura 6). Este tipo de cinceles se utiliza en terrenos pesados y compactados dejando una labor más aterronada que los de brazos flexibles. El ángulo de ataque es de 20 a 30°, con lo que se reduce el esfuerzo de tracción, aunque en algunas condiciones de suelo seco se dificulta la penetración inicial. No obstante ello, se encuentran diferentes diseños, algunos de ellos con mayores ángulos de ataque, inclusive con distintas posibilidades de ubicación de un perno fusible en la base del montante, que permite variar el mismo en un ángulo discreto (2 ó 3 posiciones) tal como se destaca en la figura 7.

Los aspectos relacionados al ángulo de ataque de las rejas dientes o púas resultan determinantes de aspectos energéticos y de labor según lo explicado anteriormente. Empero, dichos problemas no revisten excesiva gravedad en la medida que los trabajos se efectúen a profundidades inferiores a los 0,30 m, preferentemente entre los 0,20 y 0,25m. Por lo tanto, se analizarán sus efectos, tanto para equipos con arcos flexibles como rígidos.



Figura 7: arco rígido y reja convencional con perno fusible y tres posibilidades de modificación del ángulo de ataque

b)Dientes y rejas

Según el tipo de suelo, los arados de cincel pueden incorporar diferentes herramientas de trabajo. Dentro de las posibilidades existentes, las más difundidas han sido:

b.1) De roturación (convencionales)

Este tipo de púas o “rejas”, utilizado habitualmente en los cincelos de arcos flexibles, de amplia difusión en todo el mundo, presentan una curvatura que ensambla adecuadamente con la curvatura de los montantes. Si bien existen pequeñas diferencias entre los distintos proveedores, las características constructivas son muy similares, estableciéndose pequeñas diferencias en la forma y tamaño de las puntas de las rejas, como así también en el ancho de las mismas.

Por lo general, las rejas “convencionales” son reversibles, de 50 mm de ancho, ligeramente reforzadas en las puntas, para los arcos de 25,4 mm de espesor (ver figura 8).

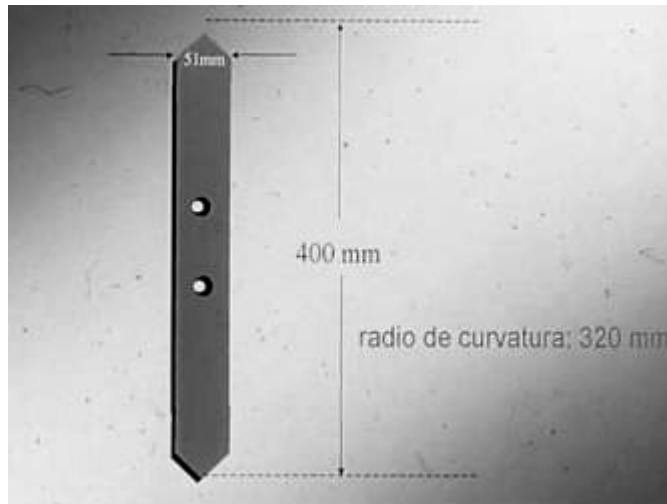


Figura 8 : dimensiones de una reja convencional

De similares características, a veces de 60 mm de ancho, con puntas más reforzadas, se encuentran las rejas de “servicio pesado”, las cuales requieren en algún sentido, su colocación sobre arcos de 38 mm de espesor, que resistan en mejor medida los mayores esfuerzos a los que se ven sometidos. Difícilmente se monten en arcos flexibles rejas de mayor ancho que el especificado, puesto que el incremento del ancho de la reja incrementará principalmente el esfuerzo de tracción, sin que se produzcan mejoras en la roturación del terreno. Vinculado a las características básicas de las púas o rejas, Payne & Tanner (1959), realizaron importantes avances en la incidencia del ancho de la herramienta sobre aspectos de diseño y energía requerida para la labor. Sus evaluaciones, efectuadas sobre la incidencia del ancho del órgano activo sobre los efectos laterales de roturación del suelo, establecieron que a partir de 50,8 mm los mismos permanecen constantes, en el rango de profundidades ensayadas, incrementándose el frente de labor únicamente en función del aumento de la superficie de la reja. Además, menores anchos de la reja generaban menores efectos laterales, es decir menor área roturada en el plano transversal al desplazamiento del implemento. Esto quiere decir que las rejas que en mayor medida incrementan los efectos laterales son las de 50 mm de ancho, lo que implica en cierta medida una mayor eficiencia desde el punto de vista del trabajo efectuado y de la energía requerida. Las rejas de mayor ancho de órgano activo demandarán mayores esfuerzos de tracción y solamente tendrán justificativo, como se verá más adelante, en la medida que sea necesario trabajar a mayores profundidades

A su vez, Willat & Willis (1965) modelizaron el área trabajada por escarificadores de arcos flexibles a partir de los datos relevados en ensayos en campo, estableciendo que los planos de roturación del suelo alcanzaban un ángulo de 45° , en la medida que la profundidad de trabajo no sobrepasaba una profundidad de 150 mm a partir de la cual el coeficiente de ajuste entre los valores medidos y los obtenidos a partir del modelo se alejaba significativamente de la unidad. Este último aspecto, se relaciona claramente con los problemas de profundidad crítica, de mucha mayor frecuencia e incidencia en los trabajos de descompactación subsuperficial.

La ecuación que modeliza el área roturada (A) al paso de una reja de ancho (a) a una profundidad (p) es, en acuerdo con el esquema que ejemplifica el efecto (Fig. 9), según los autores mencionados

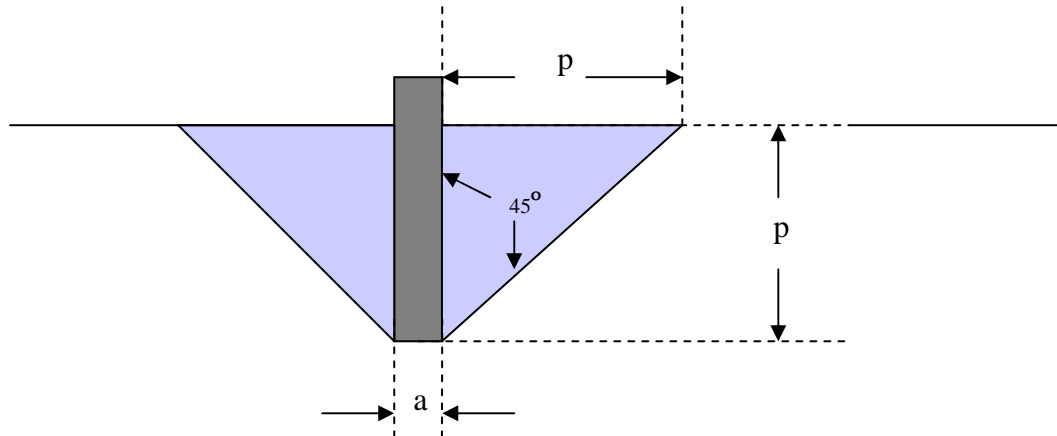


Figura 9. Esquema de roturación de una reja trabajando sin interacción según Willat y Willis (1965)

$$A = a \cdot p + 2 (b \cdot h) / 2$$

$$A = a \cdot p + 2 (p \cdot p) / 2$$

$$A = a \cdot p + p^2$$

Si establecemos valores habituales de profundidad de los escarificadores de arcos flexibles en 0,20 m y el ancho de trabajo de las rejas en 0,05 m, el área trabajada en forma directa por la reja (A1) y los efectos laterales que la misma produce (A2) serán:

$$(A1) = 0,05 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m} = 0,01 \text{ m}^2$$

$$(A2) = 0,20 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$$

El modelo puede calificarse de extremadamente sencillo y poco explicativo de los principios que rigen la roturación del suelo, pero sirve para entender la importancia de los efectos laterales en relación con el trabajo directo del suelo por la reja. Los mismos, como se desprende de los cálculos realizados son cuatro veces mayores; es decir el área trabajada en forma "indirecta" es 400% mayor que la que se encuentra en contacto con el órgano activo. Esta característica diferencia el trabajo de los escarificadores de cinceles, flexibles o rígidos, subsoladores, Paratill, etc. de los arados de reja y vertedera, los arados de discos, las rastras de discos, en los cuales solamente se trabaja efectivamente lo que es cortado y está en contacto con los órganos activos, rejas, vertederas y casquetes

b.2) Rejas de diseño alado

Dentro de este tipo de rejas, se encuentran diversas variables que implican diferentes características operativas, energía requerida, como así también objetivos de labor capaces de cumplir. Tal vez, la reja de mayor utilización dentro de este tipo, haya sido la denominada "pata de ganso", la cual se ha empleado ampliamente para la roturación del suelo en labores de escarificación en terrenos con contenidos medios de humedad (ver figura 10). También, se las conoce como rejas de escardillo chico, en acuerdo con denominaciones comunes comerciales. Como toda reja de diseño alado, la forma de la herramienta permite aumentar la denominada profundidad crítica, en relación con la que podría alcanzarse en similares condiciones con un diente estrecho. (ver descompactadores). Si bien existen distintos diseños, los más difundidos han resultado en labranza primaria del suelo las rejas de "corona baja", puesto que resultan las de menor desplazamiento del terreno, como así también de menor enterramiento de residuos y esfuerzo de tracción. El ancho total de la reja alcanza 160 a 180 mm para este tipo, mientras que las rejas de

escardillo medias o grandes poseen anchos de 300 y 400 mm aproximadamente. A diferencia de las rejas “pata de ganso”, estas últimas no se suelen utilizar a profundidades mayores a los 120 mm, puesto que los objetivos principales de labor se relacionan con el control de malezas, más que con la roturación del suelo. En estos diseños, prácticamente no existen posibilidades de producir procesos de compactación lateral, aunque en condiciones de humedad del suelo puede ocasionarse algo de compactación sobre el fondo de la labor, por un efecto de “fratachado” que puede ser más notorio cuando las rejas pierden el filo.

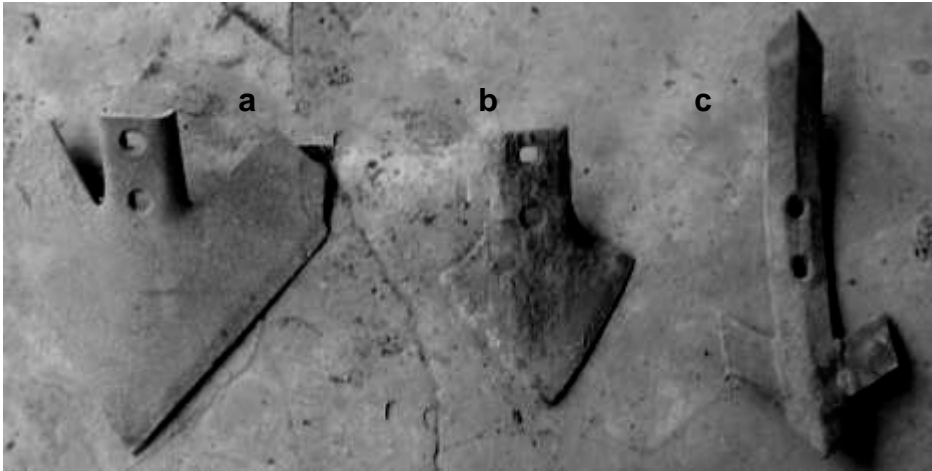


Figura 10: Rejas aladas a) Escardillo grande; b) pata de ganso; c) convencional alada

b.3. Rejas rastrojeras

Este tipo de rejas se introdujo tempranamente en nuestro país, pero no alcanzó mayor difusión. En cambio, en EEUU fueron durante muchos años las rejas más utilizadas en los planteos conservacionistas con roturación previa a la siembra de los cultivos. Al igual que las rejas convencionales, son del tipo reversible, pudiendo invertirse cuando se desgasta la punta de la reja que realiza la roturación del suelo a la profundidad de labor. El objetivo de trabajo con estas rejas era principalmente poder realizar la roturación del suelo sin mayores problemas de atoraduras. La forma relativamente helicoidal favorecía el desplazamiento de los residuos de la línea de los arcos o montantes, hacia un lateral, produciendo además un enterrado de los residuos vegetales mayor a lo que producen las rejas convencionales. Dada la asimetría lateral que presentan, las rejas debían montarse la mitad volteando hacia la derecha y la otra mitad hacia la izquierda, a los efectos de evitar la generación de efectos laterales en el esfuerzo de tracción que tendieran a desplazar lateralmente el equipo. En el caso de escarificadores con número impar de arcos, la reja que se ubicaba en el centro del implemento debía ser convencional. Tal como es posible visualizar en la figura 11, también eran múltiples las opciones de tamaños de rejas “rastrojeras” o helicoidales, tanto en ancho de trabajo como en longitud. Cuanto mayor era el ancho de trabajo, tanto mayor era el esfuerzo de tracción y el volteo del suelo y menor la cobertura de residuos remanente



Figura 11: Rejas “rastrojeras” o helicoidales de distinto tamaño y disposición colocadas sobre montantes rígidos y flexibles

Las rejas convencionales aladas recibieron en la Argentina la denominación comercial de rejas “turbo”. Su difusión fue escasa y la eficiencia del trabajo alcanzado con las mismas al menos dudoso. Las alas eran en estos diseños soldadas en los laterales de una reja convencional de roturación. Por lo tanto, el escaso espesor de las rejas obligaba prácticamente a que las alas tuvieran el mismo ángulo de ataque que la reja que le daba sustento. Como consecuencia de esto, el frente de ataque del conjunto reja más ala era de una superficie demasiado elevada. Al montarse por lo general sobre montantes flexibles, en la medida que el arco se deformaba hacia atrás, por los esfuerzos de tracción a los que estaba sometido el conjunto del órgano activo, se incrementaba el ángulo de ataque y se incrementaban los esfuerzos de tracción del escarificador

Patrón de roturación

A partir de fines de la década del 70, comenzaron a encontrarse precisiones sobre algunos de los problemas detectados para el trabajo con escarificadores, los cuales habían sido cuantificados muchas veces, pero no explicados. Muchas de dichas respuestas se hallaron en los estudios hechos sobre el trabajo de descompactadores. Tal vez, uno de los aportes más importantes se encuentra en relación a los patrones de roturación, vinculados a lo que se ha denominado “profundidad crítica”. Al respecto, Spoor & Godwin, (1978), empleando diferentes modelos de órganos activos y dos profundidades de trabajo, hallaron que a la menor profundidad el patrón de roturación del suelo era similar para todos los modelos, diseños, pero diferían a la mayor profundidad .

Dicha forma de fracturamiento se encontraba con frecuencia para un amplio rango de texturas, contenidos de humedad y densidades. A niveles superficiales, el suelo era desplazado hacia adelante, arriba y lateralmente, bajo un patrón de roturación denominado fracturamiento o falla creciente, rompiéndose a lo largo de planos bien definidos que se propagaban desde el extremo de la reja hacia la superficie con una angulación aproximada a los 45° con respecto a la horizontal.

El modelo de ruptura continuaba con el incremento de la profundidad, hasta que a un determinado nivel, denominado **profundidad crítica**, el suelo comenzaba a deslizarse solamente hacia adelante y los lados (fracturamiento lateral), generando compactación en profundidad, la cual dependía de la geometría de la reja.

Sus observaciones a campo dieron por resultado que la profundidad crítica para órganos activos de 65 mm de ancho se producía en un rango de entre 300 y 400 mm, es decir, a relaciones profundidad/ancho de 5 a 7, alcanzando niveles más superficiales en la medida que el suelo se torna más plástico o los horizontes superficiales más secos. Explicaron además, que ambos tipos o patrones de rotura se encuentran presentes siempre en las labores con escarificadores, predominando uno u otro, según distintas variables de suelo y relaciones suelo - máquina

Concluyeron, caracterizando a la profundidad crítica como aquella a la cual se produce compactación más que una efectiva remoción del suelo (Figura 12)

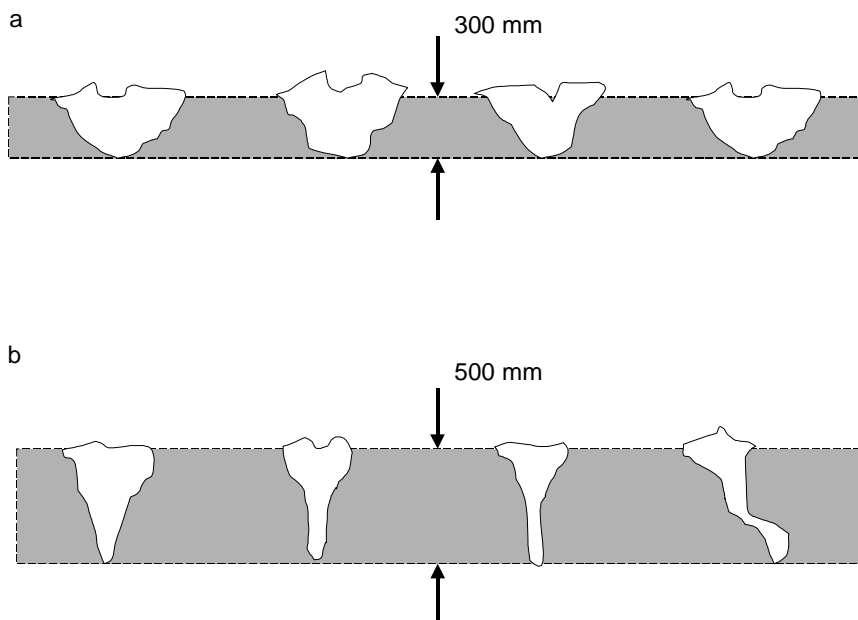


Figura 12. Patrones de roturación de diferentes órganos activos, trabajando a dos profundidades: a) 300 mm; b) 500 mm. (Adaptado de Spoor y Godwin, 1978).

Godwin & Spoor (1977) puntualizaron que para lograr una roturación efectiva del suelo se debe producir fracturamiento creciente y, por lo tanto, la profundidad crítica tenía influencia sobre la máxima profundidad a la que podría ser empleada una determinada reja. Dicho fracturamiento ocurría cuando la resistencia al corte en sentido vertical era menor que la lateral, igualándose ambas a la profundidad crítica. Spoor & Fry (1983) encontraron que la naturaleza del tipo de fracturamiento depende principalmente del grado de compresibilidad del suelo y de la magnitud de sus tensiones internas.

Sobre la misma temática, Mouazen & Neményi (1999), detectaron que por delante del arco se producía una elevación del suelo en forma de cuña. Por encima de la reja el suelo se desplazaba hacia arriba, hacia adelante y en forma lateral, iniciándose la elevación a partir del extremo de la reja, determinando un incremento de volumen de la totalidad del suelo por delante del escarificador. En virtud de los resultados observados, el arco tendría un rol importante en el efecto final de la herramienta sobre el suelo. Lo expuesto, indica que existe una clara dependencia entre los factores enumerados: ancho del órgano activo, profundidad de trabajo, estado del suelo. Al respecto, **Perfect, et al. (1997)** encontraron que

el consumo de combustible, el porcentaje de patinamiento, la fuerza de tiro y la fuerza de tiro específica, aumentaron, mientras que la velocidad disminuía, cuando se incrementaba el contenido de agua en el suelo al momento de realizar la labor. El aumento en la fuerza de tiro, puede ser atribuido, principalmente, al modo dominante de ruptura o fragmentación de los agregados, que pasa de ser quebradizo a plástico (**Hatibu and Hettiaratchi, 1993**).

Resultados de investigaciones previas permitían inferir algunos de estos aspectos, pese a que no se había logrado, a partir de los resultados de los mismos, explicar los procesos. Las relaciones establecidas por los distintos autores determinan que la simple decisión de realizar un trabajo de escarificación y más aún de descompactación obliga a realizar un proceso de análisis, que pocas veces se efectúa a nivel de producción, que requiere al menos contestar los siguientes cuestionamientos:

- 1) ¿El estado del suelo es el adecuado para efectuar un trabajo de roturación en profundidad?
- 2) ¿Las características de diseño del órgano activo y del montante que lo soporta permitirán realizar un trabajo de roturación efectiva del suelo (bajo el patrón de fallas crecientes), garantizando el fracturamiento de las capas compactadas?

La primera pregunta implica que se debe valorar el estado del suelo a través de una mínima calicata y observar la condición del suelo por debajo de la capa compactada que se quiere roturar. En acuerdo con los resultados experimentales, el suelo debe estar seco o poco húmedo en profundidad, de forma tal que las fallas crecientes abarque una porción importante de la zona compactada, sin generar problemas por superar la profundidad crítica y provocar compactación en profundidad por desplazamiento lateral del suelo.

La segunda cuestión debe tenerse en cuenta al momento de seleccionar, comprar el implemento o contratar su uso. Sin embargo, las alternativas de anchos de la reja en los escarificadores están bastante acotadas entre los 50 y 100 mm entre los distintos descompactadores y generalmente entre 50 y 80 mm. Los mayores anchos permitirán a las rejas de diseño convencional trabajos más profundos sin modificar el patrón de roturación pero incrementarán los esfuerzos de tracción en forma importante, limitando las posibilidades de conformación armónica de conjuntos tractor-aperos.

Los descompactadores de arcos rígidos presentan habitualmente posibilidades de modificación o selección del ángulo de ataque, quedando a criterio de los usuarios, la responsabilidad de la selección. La variación de la posición se alcanza en muchos diseños a través de la ubicación del montante sobre la pieza que lo une al bastidor, en forma discontinua, por el perno que cumple las funciones de fusible de seguridad ante incrementos importantes del esfuerzo de tracción. Los ángulos de ataque de la reja se encuentran en el orden de 30° a 50°. Se podrá, en acuerdo con la decisión tomada, trabajar con los menores ángulos, produciendo mayores efectos laterales y hacia delante, con bajos esfuerzos de tracción, con menor resistencia específica y roturación en agregados de mayor tamaño. En contraposición, los mayores ángulos de ataque provocarán efectos contrarios a los enunciados. Cabría preguntarse, cuales serían los beneficios efectivos de la mayor roturación del terreno, es decir, de alcanzar un tamaño de agregados menor en una labor de descompactación, tanto en condiciones de sistemas de labranza convencional como de siembra directa. Al respecto, deben relacionarse no solamente los aspectos energéticos sino también las consecuencias que dicha decisión tiene sobre la persistencia de los efectos de la descompactación, sobre las propiedades físicas del suelo, tal como será analizado posteriormente. No obstante ello, es importante que exista sobre el implemento la posibilidad de variar el ángulo de ataque de los órganos activos, ya que dicha regulación permitirá contar con una máquina más versátil. La versatilidad en las máquinas agrícolas es uno de los aspectos de mayor relevancia, al poder con una misma estructura básica cumplir con diferentes objetivos de labor y adecuar los requerimientos energéticos dentro de rangos relativamente estrechos para cada tipo de reja y conformación de conjunto

Ángulo de ataque

El ángulo de ataque de las rejas de los implementos de labranza es uno de los aspectos de diseño de mayor importancia. Del mismo dependen aspectos fundamentales de la labor del implemento, la energía requerida para el corte, la roturación del suelo, el grado de deterronamiento, la capacidad de penetración, la elevación del terreno en contacto con los órganos activos y el desplazamiento y volteo de residuos de cosecha.

El ángulo de ataque queda definido por una recta que coincide con la superficie plana de la reja y otra recta coincidente con la superficie del terreno (o sea con la horizontal). En el caso de rejas curvas por convención se acuerda definir el ángulo de ataque entre la horizontal y una recta que pasa por los agujeros de fijación de la reja al timón, cuando la misma se encuentra en posición de trabajo (Fig. 13)

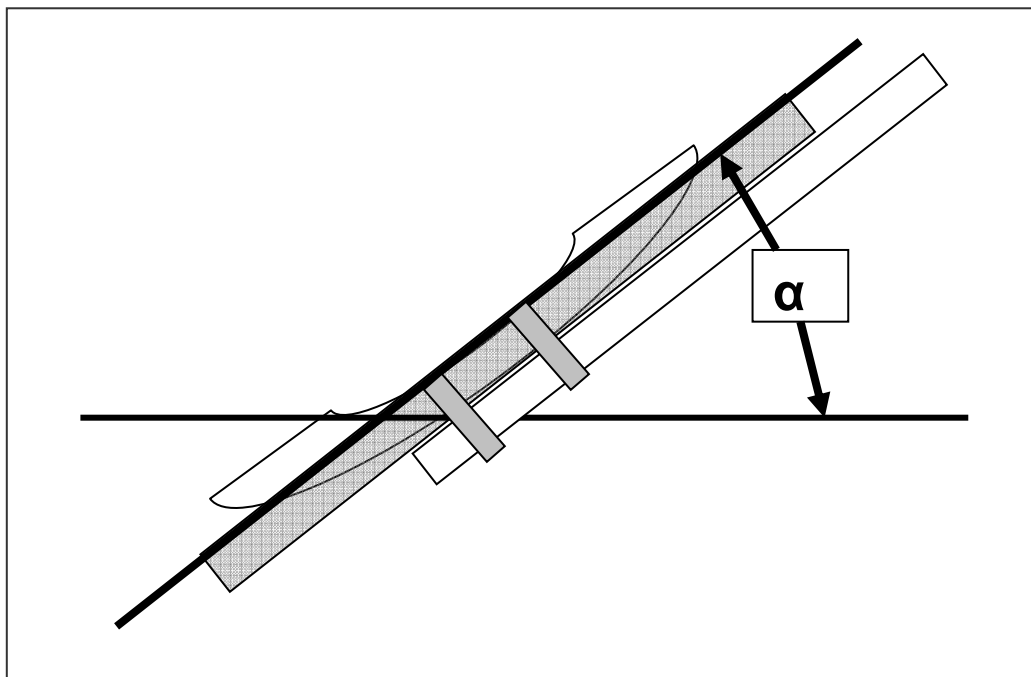


Fig. 13. Ángulo de ataque de la reja de escarificadores. Esquema de 2 rejas (una plana y una curva con similar ángulo de ataque

Influencia del ángulo de ataque

En la figura 14 pueden observarse las notables diferencias que acontecen en relación con el grado de roturación para dos ángulos de ataque diferentes ($=25$ y 40°) a medida que se desplaza la reja sobre el terreno una cierta distancia (x)

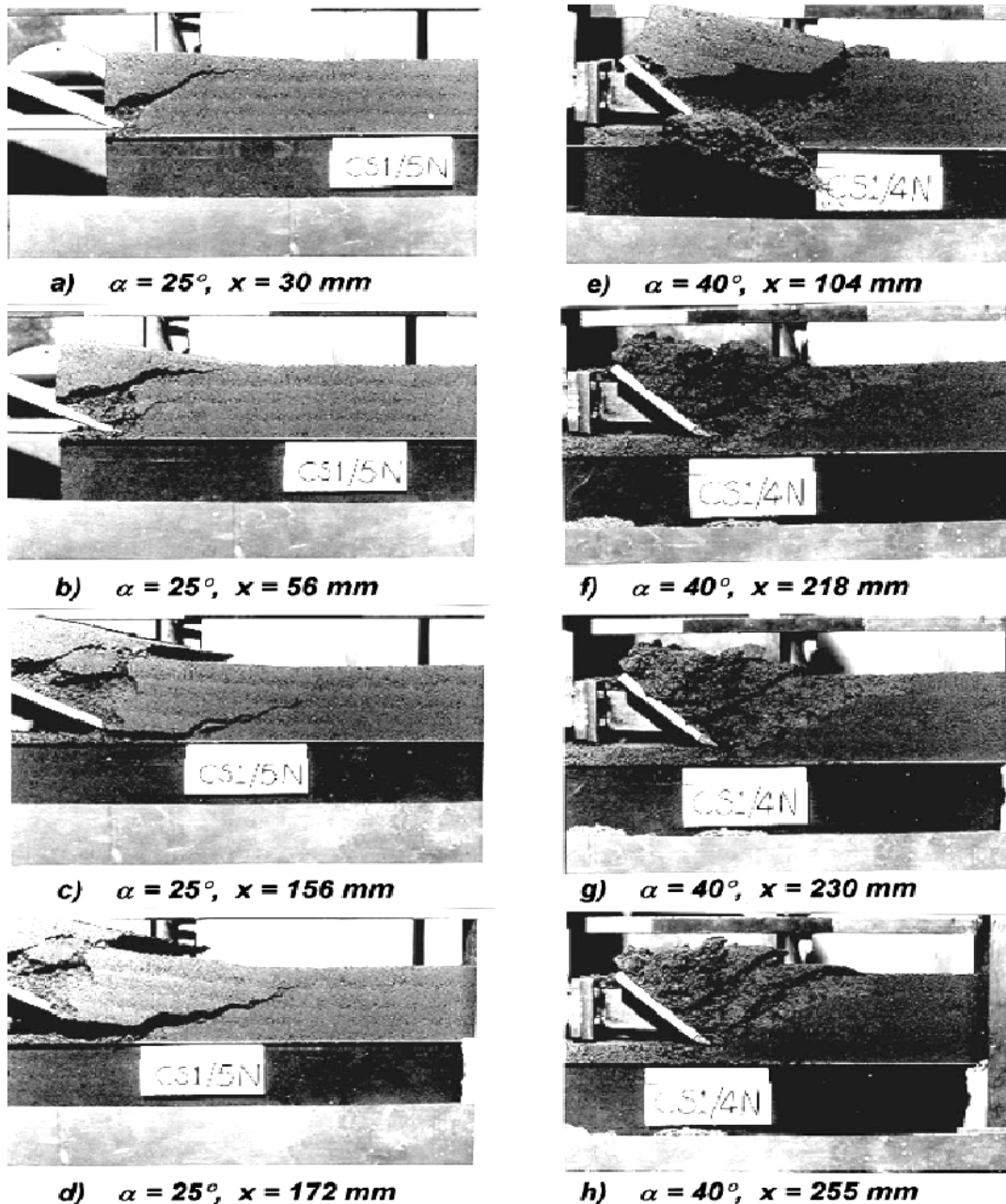


Figura 14. Diferencias en el trabajo con diferentes ángulos de ataque de la reja (α) en la medida que la misma se desplaza (x)

En el trabajo con el ángulo menor, se destaca la escasa fragmentación del área roturada hacia delante en la medida que la reja avanza, a diferencia de lo que ocurre con el ángulo de 40° , el cual presenta una mayor cantidad de planos de fractura, como así también una mayor desagregación de los bloques delimitados entre los planos de fractura principales.

En relación con estos aspectos del ángulo de ataque, Payne & Tanner (1959), trabajando con una amplia gama de ángulos de ataque (definiendo como tal al formado por la inclinación de la reja con respecto a la horizontal en la dirección de avance), encontraron que con valores de hasta 45° el suelo provee una componente vertical que contribuye a la penetración de los órganos activos, cuyo sentido se invierte para mayores angulaciones. Asimismo, detectaron significativas variaciones en la eficiencia, medida en función del esfuerzo traccional por unidad de área de suelo removida, la cual resultó ser 8 veces mayor para ángulos de 20° con respecto a 160° . En cuanto al esfuerzo de tracción, este se

mantenía relativamente constante para ángulos de entre 20° y 50°, incrementándose significativamente para mayores angulaciones.

El trabajo con elevados ángulos de ataque, conllevan además otros inconvenientes. Spoor & Godwin (1978) puntualizan que a profundidad constante, el suelo se fractura hacia arriba con escasa compactación (bajo el modelo de falla creciente), con ángulos de 25°, mientras que con valores de 70° se producen procesos de compactación lateral, cambiando la preponderancia del patrón de fractura del suelo, hacia el modelo de fallas horizontales.

Si bien los principios de roturación del suelo para implementos de montantes flexibles y rígidos son los mismos, estos últimos, al no experimentar variaciones en el ángulo de ataque, resultan energéticamente más eficientes. Debido a los menores valores de resistencia específica obtenidos, según Claverie et al., (1995), quienes encuentran además que los rangos de variación en la resistencia específica para los arcos flexibles resultan de mayor magnitud que para los arcos rígidos. Ensayos de tracción de arcos flexibles realizados por Claverie (1997) permitieron determinar que cuando la tracción ejercida sobre un arco flexible igualaba a los valores medios medidos en ensayos de campo, los ángulos de ataque inicialmente de 45° alcanzaban valores de 60° a 65°, los cuales se encontraban por encima de los citados por Payne & Tanner (1959) como determinantes de la mayor eficiencia energética y muy próximos a los mencionados por Spoor & Godwin (1978) como limitantes del patrón de roturación en fallas crecientes. En relación a los esfuerzos de tracción, a profundidad constante, resultaron significativamente menores para los arcos rígidos, con valores de 3600 N, comparativamente a los arcos flexibles, que alcanzaron 4200 N.

Ayala et al., (1996) evaluaron arcos rígidos y flexibles registrando una disminución del 27% en el coeficiente de labranza de arcos rígidos respecto de arcos flexibles. Balbuena et al., (1997) en ensayos con escarificadores de arcos rígidos con interacción, realizados en dos suelos Argiudoles de la región Pampeana, evaluaron los efectos de diferentes ángulos de ataque de la reja sobre los parámetros de prestación energética. La resistencia específica al laboreo resultó siempre mayor para el ángulo de 45°, con respecto a los de 38° y 32°, alcanzando diferencias significativas con respecto al menor ángulo en cada uno de los ensayos realizados. Por otra parte, el área trabajada resultó también significativamente mayor para el menor ángulo ensayado en los diferentes suelos (32° y 38°). Estos resultados son básicamente coincidentes con los alcanzados por Payne & Tanner (1959). El plano de roturación lateral no mostró diferencias a nivel estadístico pese a que se mantuvo una tendencia similar, correspondiendo la menor angulación del plano de falla al mayor ángulo de ataque de la reja. Al realizar cálculos del área roturada por los distintos tratamientos en función de la profundidad de trabajo, se alcanza una adecuada correlación entre las áreas medidas y calculadas (suponiendo un ángulo de fracturamiento teórico de 45°) para los tratamientos de 32° y 38°. Para el ángulo de 45° en cambio el área de suelo movilizada resultó un 22,26% menor. Esto indicaría la existencia de una modificación en la forma de roturación del suelo que produciría el incremento manifestado en los cálculos de resistencia específica al laboreo, asociada al predominio de las fallas crecientes por sobre las fallas horizontales para la menor angulación y, al menos, una reducción de las mismas en profundidad, pese a que la misma no superó en promedio los 220 mm, por debajo de los límites mencionados de 5 a 7 veces el ancho de labor del implemento utilizado (50 mm) para superar la profundidad crítica. El incremento de la resistencia específica podría en parte deberse también, tal como lo expresa Mckyes (1989), al aumento de la roturación del suelo dentro de la zona trabajada (frente de labor) por el órgano activo para el mayor ángulo de ataque.

Tal como se desprende del análisis de los resultados de los distintos trabajos de investigación, el trabajo con arcos flexibles no resultaría adecuado para la realización de trabajos de descompactación. El ángulo de ataque de la reja es un factor determinante, tanto de la capacidad de penetración del implemento, como en los aspectos relacionados a la energía requerida para la labor, incidiendo además sobre la profundidad crítica y el grado

de roturación. En condiciones en las cuales el esfuerzo de tracción es elevado, como en todo proceso de descompactación profunda del suelo, los arcos o montantes flexibles se deformarán, incrementando el ángulo de ataque de la reja, aumentando los esfuerzos de tracción, hasta el momento en que la pérdida de la capacidad de penetración por disminución de las componentes en el plano vertical determina reducciones en la profundidad de labor y el esfuerzo de tracción. El proceso, de esta forma, se transforma en cíclico, ocasionando no solamente ineficiencia energética sino irregularidad y en el trabajo del suelo y los efectos de roturación alcanzados.

Los escarificadores con montantes rígidos muestran a su vez algunas diferencias interesantes en el diseño de los mismos en relación con el ángulo de ataque de las rejas y el montante en su conjunto. En la Figura 15 es notorio que el ángulo de ataque ha sido valorado como parámetro de diseño tanto para la reja del escarificador como para el montante que lo vincula al bastidor, constituyendo el mismo casi la continuación de la reja, sin interferir en el movimiento del suelo y los residuos iniciados por la reja



Figura 15. Vista lateral de un escarificador rígido con bajo ángulo de ataque tanto en la reja como en el montante.

Por lo contrario, en la figura 16 el ángulo de ataque del montante difiere notablemente del ángulo de ataque de la reja, produciendo cambios en la dirección en la cual es elevado el terreno y los residuos vegetales si es que se hallan presentes al momento de realizar la labor.



Figura 16. Vista lateral de un escarificador rígido con elevado ángulo de ataque del montante en relación con el ángulo de la reja.

Esto no ocasiona demasiados inconvenientes en la medida que el montante sea de menor ancho que las rejas, los trabajos sean superficiales y el terreno se encuentre en condiciones óptimas de ser trabajado en lo referente a estado de humedad y presencia de rastrojo. En otras condiciones, trabajos de descompactación profunda, montantes de similar ancho que la reja, y presencia de residuos en superficie, el ángulo del montante llega a cobrar importancia, puesto que en los estratos cercanos a la superficie, parte del terreno reacciona al paso de la máquina en función del ángulo de ataque del montante y no del ángulo de ataque de la reja. Estos problemas aumentarían en la medida en que los órganos principales de roturación superen por distintas circunstancias aquella profundidad, denominada crítica, en la cual se modifica el patrón de roturación del suelo

c) Bastidor

El bastidor, es la estructura sobre la cual se montan los arcos (Fig. 17). Consta de una serie de largueros transversales llamados "paños" o "planos", generalmente en número de dos, tres o cuatro, en los que se distribuyen dichos arcos alternándolos de tal forma que proyectados sobre un plano perpendicular a la dirección de avance se encuentren todos ellos con igual distancia entre sí, denominada habitualmente distancia entre líneas de acción. Los largueros transversales determinan planos de acción o trabajo de los escarificadores, que establecen una secuencia de laboreo sobre el terreno, determinando a su vez que existan órganos activos que trabajan con distintos grados de interacción. El hecho de colocarlos en diferentes planos radica en que el apero debe poder realizar una labor uniforme con la posibilidad de que no se produzcan atascamientos con el rastrojo. Generalmente los bastidores son rectangulares actuando como paños los lados de mayor longitud.



Fig. 17. Vista de la estructura del bastidor y características de distribución de los arcos en los primeros cinceles fabricados en el país

La distancia entre paños oscila entre 0,50 y 1,20 m. La separación entre arcos depende del número de paños, ancho de la herramienta, profundidad máxima de trabajo y la masa y volumen de residuos presentes en la superficie.



Figura 18 vista posterior de un escarificador de cinceles de arcos flexibles, donde se destaca la separación entre arcos y planos de acción.

En la figura 18, se observa que si bien la distancia entre las líneas de acción de los arcos sobre el terreno es estrecha (relacionada a trabajos relativamente superficiales), no ocurre lo mismo con la distancia entre arcos en un mismo plano de acción. Esto se debe, como se ha dicho anteriormente a que la presencia de un mayor número de planos permite

establecer un arreglo espacial (distribución de los arcos) que disminuye los riesgos de atoraduras de los cinceles.

En particular, deben evitarse distancias entre órganos activos, en un mismo plano, inferiores a 1 m, especialmente cuando no se cuenta con mecanismos que asistan al corte de los residuos vegetales. En este sentido, cualquier plano de acción de los arcos puede resultar crítico, pero la mayoría de las veces los problemas más frecuentes ocurren en la parte central de los últimos planos, donde hay mayor cantidad de residuos, por el desplazamiento lateral que ejercen los primeros arcos, movilizándolo no solamente el rastrojo, sino además tierra, que favorece según el grado de humedad la acumulación contra los montantes.

No obstante ello, puede verse analizando la fotografía anterior que la distancia entre arcos y la distribución de los mismos puede encontrar otro tipo de restricciones al paso de los residuos de cosecha, como ser la ubicación del sistema de rodado que sirve para el transporte y limitación de la profundidad de trabajo

En otras ocasiones no es un solo elemento el causante de los riesgos de atoraduras, sino un conjunto de decisiones de diseño, que implican asumir el riesgo por parte del fabricante, atendiendo a criterios u objetivos que consideran de mayor jerarquía ante determinadas condiciones o circunstancias. En la figura 19 se ha identificado un diseño de escarificador rígido, en el cual, en el primer plano de acción aparecen diversos aspectos que podrían ocasionar riesgos de acumulación de residuos. Desde este punto de vista, el diseño es criticable, ya que en la parte central, delantera, se ubican 2 arcos demasiado juntos entre sí. A ello se suma que en dicho sector el fabricante ubicó el sistema de enganche, ubicando el punto de anclaje al bastidor en una posición bien baja, seguramente tratando de favorecer en alguna medida mayores cargas dinámicas y facilidad de enganche. Por otra parte, el segundo plano de acción de los arcos, también en la parte central no se encuentra demasiado distante del primero. Cabe mencionar también que la estructura del bastidor en ese sector limita el desplazamiento lateral hacia los sectores externos, regulación que podría ser necesaria en la medida que se pretenda aumentar la profundidad de trabajo, manteniendo una determinada relación Distancia entre arcos/profundidad de trabajo. Sin embargo, todo lo dicho pierde valor, en la medida que el escarificador sea adquirido para trabajar en sistemas tradicionales de labranza, sin residuos en superficie, al final de la preparación del terreno, cercano a la fecha de siembra.

A modo de resumen sobre estos conceptos, la mayoría de los diseños de escarificador tendrán “puntos fuertes y débiles” los cuales deberán ser evaluados en relación con el ambiente en el cual desarrollará principalmente sus trabajos y en acuerdo con los objetivos de trabajo que se busca alcanzar

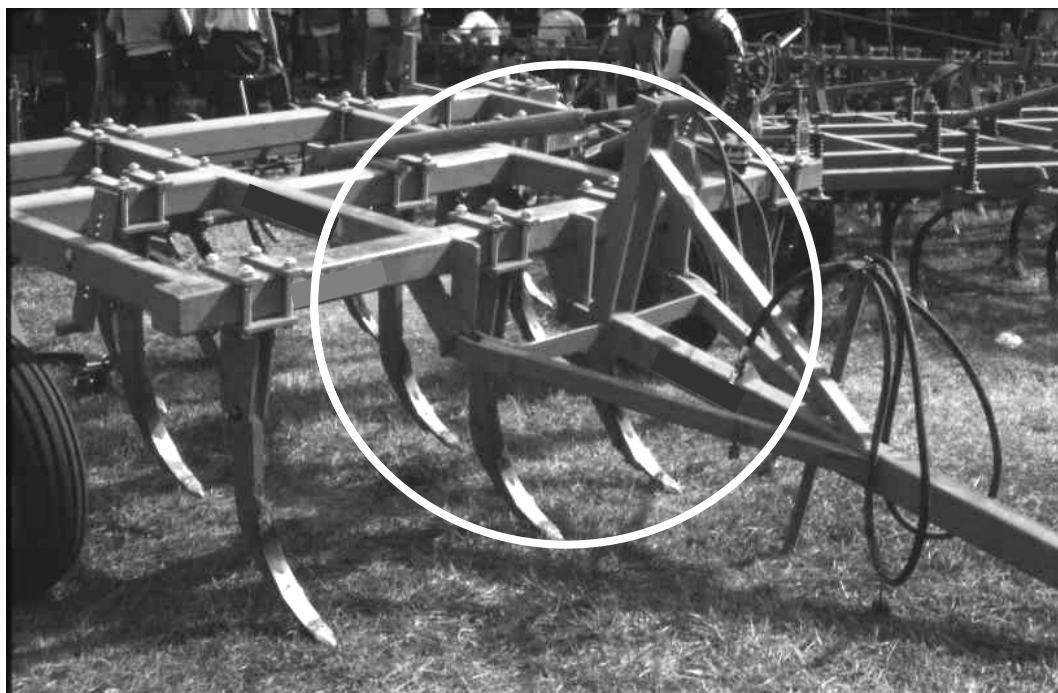


Figura 19. Vista de la parte delantera de un escarificador rígido, en el cual se presentan distintos aspectos que producen riesgos de atoraduras con residuos de cosecha

Sistema de rodado

Las ruedas en los escarificadores suelen variar en su número y ubicación en función de características básicas de diseño del escarificador, ancho total, número de planos de acción, peso del equipo y costos de fabricación.

En los equipos más sencillos, pequeños y de menor costo el sistema se limita a un par de ruedas solamente, que se encuentran ubicadas en un mismo plano y generalmente en posición central entre los arcos traseros y delanteros. El número de ruedas y el tipo de vínculo que se establece con el brazo que las soporta determina la mayor o menor capacidad para copiar los desniveles del terreno. Al constituir los escarificadores de cinceles implementos que pueden ser usados en labranza conservacionista, debe tenerse en cuenta la superficie del suelo se presentará irregular en muchas condiciones por los residuos de cosecha que se encuentren presentes. A ello debe sumarse que la acción de los órganos activos del escarificador que trabajan el suelo en los primeros planos de acción, provocarán desplazamiento de residuos y agregados, que afectarán la uniformidad de labor en la medida que el rodado del apero coincida total o parcialmente con los mismos. Independientemente de estos aspectos enunciados, la existencia de irregularidades transversales a la dirección de avance, determinarán, cuando las ruedas son 2 en un mismo plano, que todo el apero se entierre o desentierre al pasar por una depresión o una elevación. Estos problemas son bastante frecuentes y son ocasionados por cierres de amelgas en los sistemas de labranza tradicionales con roturación previa a la siembra, o por el pasaje de tractores, cosechadoras y carros graneleros durante la cosecha de granos en condiciones de humedad inadecuada del suelo.

En la figura 20 puede verse la presencia de solamente 2 ruedas, en un mismo plano, ubicadas en la parte central de un escarificador de arcos flexibles

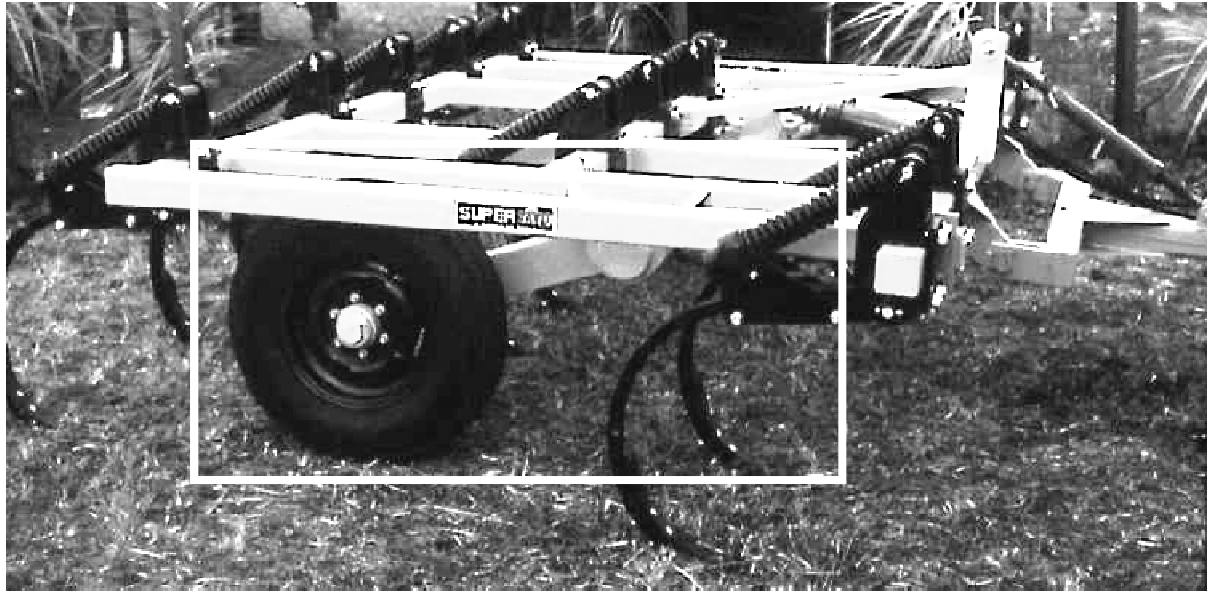


Figura 20 . Cincel de arcos flexibles con rueda singles ubicadas en posición central

Nótese que en este caso, el eje que permite la elevación y bajada de las ruedas por medio de un actuador hidráulico de doble acción comandado a distancia, se encuentra ubicado por debajo de la línea del bastidor, lo cual podría en alguna condición limitar el movimiento del residuo. En este caso, la ausencia de órganos activos en la zona en la cual se encuentran las ruedas y el eje de accionamiento no ocasionan el mencionado problema

En la figura 21, en cambio, se destaca la presencia de ruedas dobles, en balancín, también dispuestas en el sector medio de un escarificador de montantes rígidos. Cuando las ruedas dobles se vinculan al eje que modifica su posición relativa con el bastidor a través de un balancín, existen mayores posibilidades de “copiado” de la superficie del terreno, ya sea el mismo suelo o el rastrojo, tanto para las irregularidades provocadas por el propio apero como para aquellas producidas por el pasaje de otros implementos o máquinas agrícolas.

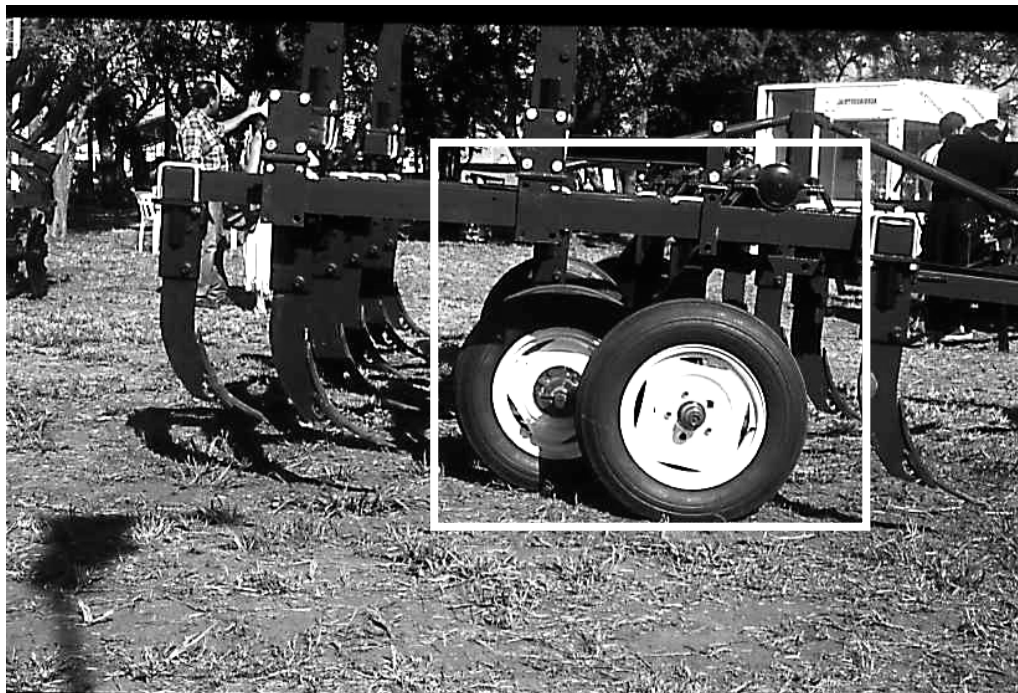


Figura 21. Vista lateral de un escarificador de montantes rígidos con ruedas dobles, en balancín, ubicadas en el plano medio del equipo.

A diferencia del caso anterior, el eje que da movimiento al mecanismo de regulación de la profundidad de trabajo se encuentra ubicado y tomado al bastidor por la parte superior del mismo. Resulta sencillo comprender que esta disposición elimina los riesgos de atoraduras contra el eje, independientemente de las condiciones de trabajo y profundidad de labor, ya que antes de que esto pueda ocurrir aparecerán problemas, seguramente, a nivel de los propios arcos. Como contrapartida, deberá ser previsto por parte del fabricante un dimensionamiento del mecanismo en su conjunto acorde a la mayor distancia relativa con la superficie del suelo ya que los esfuerzos a los que estará solicitada crecerán en relación directa con el incremento del momento, durante la operación de “levantar” del equipo en las cabeceras del lote. Teniendo en cuenta que los bastidores tienen barras cuadrangulares de 0,10 m a 0,12 m de lado, la variación de altura entre una y otra disposición puede alcanzar 0,20 a 0,30 m según el diámetro del eje utilizado. En ese instante, cuando comienza el movimiento, debe vencerse no solamente el peso propio del equipo sino también las cargas dinámicas que se generan en el plano vertical producto de la acción del suelo sobre los órganos activos.

La disposición de las ruedas en el plano medio, hacia la parte delantera o hacia la parte trasera del escarificador, también adquiere importancia en diferentes aspectos vinculados o no al movimiento de residuos.

En la medida que en posición de trabajo del escarificador las ruedas se encuentran más cercanas a la parte trasera del equipo, mayores serán las posibilidades de encontrar suelo removido por el propio escarificador y, por lo tanto, una superficie del terreno con mayor irregularidad. Por lo tanto, la profundidad de trabajo será más desuniforme. Asimismo, también aumentarán las posibilidades que las ruedas queden cercanas a algún arco y la acumulación de residuos se produzca entre los montantes y las ruedas. En los aspectos dinámicos de la operación, la posición trasera de las ruedas favorecerá la penetración inicial del equipo y una mayor carga dinámica durante el trabajo.

Cuando las ruedas se encuentran o desplazan hacia el sector delantero del bastidor, la uniformidad de la profundidad de labor será mayor, puesto que será más sencilla su ubicación alejada de los arcos, en un sector de suelo no disturbado previamente o alejado de las líneas de acción de las rejas delanteras. Como contrapartida, la penetración inicial se verá dificultada y las cargas dinámicas que se transmitirán al tractor serán menores a las del caso anterior.

Por lo general, en equipos de gran ancho de labor, las ruedas se ubicarán entre el sector medio y trasero del equipo, por lo que será necesario contar con ruedas dobles, en balancín y, a veces, con ruedas de apoyo complementarias que brinden una adecuada capacidad de copiado para todo el ancho de trabajo del escarificador.

Accesorios

Los escarificadores de cinceles de arcos flexibles o rígidos, presentan una serie de elementos accesorios, que contribuyen en determinados ambientes y situaciones de trabajo a conseguir diferentes objetivos de labor. Entre ellos, las cuchillas circulares han sido los más utilizados, en la medida que los sistemas productivos de la República Argentina tendieron paulatinamente hacia la conservación de residuos de cosecha para disminuir los riesgos de erosión hídrica y eólica. Las características de los órganos activos, las rejas, sin filos que produzcan corte de los residuos y los arcos o montantes, planos, favorecen la acumulación de residuos e impiden en determinadas circunstancias el trabajo del cincel. Habitualmente este proceso se denomina a nivel de campo como “atoraduras” y bajo esta denominación se lo identificará en el texto. Las atoraduras, se producen más fácilmente en

presencia de residuos de cosecha cortados, acostados, largos y húmedos. No es necesario que se encuentren todas estas condiciones en una misma situación y a veces una sola de las mismas puede generar un problema que impide prácticamente el desplazamiento del implemento. A veces, condiciones de diseño del cincel, el despeje, la separación entre arcos en un mismo plano de acción, la curvatura de los montantes y la profundidad de trabajo resultan determinantes de los procesos de atoraduras.

Existen diversas posibilidades de ubicación, diseño y regulación de las cuchillas circulares para corte de residuos. Las cuchillas más simples usadas son las lisas, montadas en forma individual al bastidor y a veces, formando un conjunto con la estructura de soporte y fijación de los arcos (Fig.22)



Fig. 22. Vista lateral de un escarificador de cincel, con cuchillas lisas tomadas en forma individual por delante del arco

Estos conjuntos presentan algunas ventajas y a veces algunos inconvenientes operativos. Como principales ventajas puede mencionarse la coincidencia permanente de la línea de trabajo de las rejas con el corte de la cuchilla, puesto que cada vez que se desplaza el montante se desplaza en forma conjunta la cuchilla. Como desventajas, pueden citarse que la regulación en profundidad de las cuchillas puede verse limitada por el escaso recorrido libre de la cuchilla, cuando se utilizan cuchillas de gran diámetro que facilitan el corte de residuos. Como toda cuchilla individual, presentará un mayor trabajo al operario que deberá regular cada una de ellas, resultando en algunos casos incómodo y o riesgosa la operación, si no se toman los recaudos pertinentes. A veces, los diseños prevén que ajustando o aflojando un tornillo se pueda modificar la altura de trabajo de la cuchilla con respecto a la de la reja. En otros diseños, se requiere mayor trabajo del operario para hacer la operación, por el desplazamiento independiente de arcos y cuchillas circulares individuales (Fig. 23), la presencia de tuercas y contratueras, a lo que se suma en algunos casos que también se deba modificar la tensión de resortes que mantienen una presión constante de la cuchilla sobre el suelo.



Figura 23. Cuchillas individuales, de movimiento independiente del arco, con regulación discontinua de la profundidad de trabajo

La mayoría de los diseños de cinceles de gran ancho de trabajo incorporó la presencia de cuchillas circulares dispuestas en forma conjunta, sobre a parte delantera del bastidor, a veces tomadas formando un equipamiento opcional de la estructura básica del escarificador.

Este tipo de diseños también presenta ventajas y desventajas con respecto a las alternativas descritas anteriormente

Las principales ventajas de este tipo de cuchillas de corte de residuos se relacionan con los aspectos de regulación del implemento. Al disponerse en un conjunto ubicado en la parte delantera, quedan siempre accesibles al operario, quien puede trabajar generalmente en forma cómoda y poco riesgosa. Por otra parte, las regulaciones de posición y tensión pueden hacerse por conjuntos de cuchillas y no de manera individual, lo cual mejora las posibilidades que los operarios realicen los ajustes requeridos para mejorar el trabajo del escarificador (Fig. 24)



Figura 24. Cuchillas circulares lisas de borde entero y recortado alternadas, tomadas en conjunto en la parte delantera de un cinzel, con registro de tensión por sectores

Las desventajas de estos diseños, se encuentran en las mayores dificultades de penetración del equipo cuando el mismo debe clavarse en las cabeceras. Los escarificadores, por la disposición de sus ruedas, tienden a clavarse primero por la parte delantera, para después de unos metros nivelarse con la rejas traseras. La presencia de un conjunto de cuchillas por delante de las rejas, puede constituir un impedimento en suelos relativamente secos y duros. En estos casos, de existir restos vegetales que pudiesen ocasionar ataduras, debería reducirse la profundidad y o tensión del conjunto de cuchillas. Sería dable esperar, que la cuchilla circular corte, en esas condiciones, con facilidad los residuos de cosecha, ya que el suelo brindará resistencia suficiente para producir el corte de los mismos sin tener que profundizar demasiado, en forma contraria a lo que acontece cuando el suelo es blando y o húmedo en superficie

En otros diseños, la tensión de las cuchillas es dada por la flexibilidad de un montante elástico, que no permite la modificación de la misma pero simplifica el mantenimiento y operación con bajos costos (fig.25).

Otras alternativas de diseño de cuchillas para selección de los usuarios serán el diámetro, el tipo de cuchillas, con bordes enteros o recortados, lisos u ondulados y con mayor o menor remoción del suelo y facilidad de rodado según el tipo, número y ancho de las ondulaciones

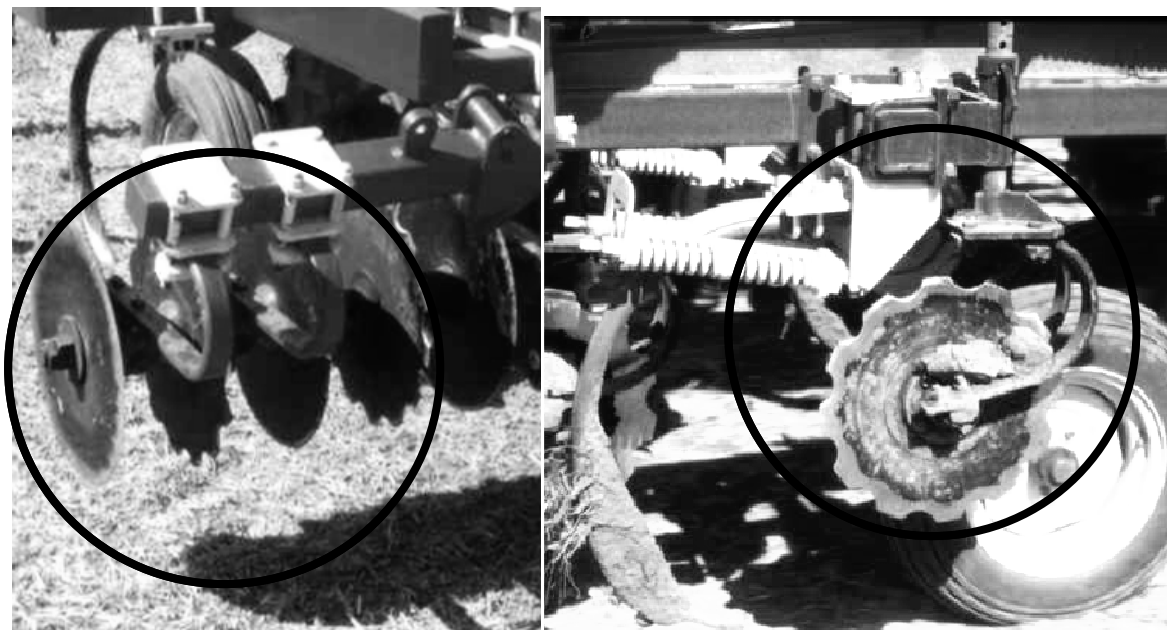


Figura 25. Cuchillas circulares tomadas al bastidor en forma individual o conjunta por medio de brazos elásticos

Otros accesorios posibles de complementar el trabajo de las cuchillas y los órganos activos de los cinceles lo constituyen el conjunto de elementos que pueden colocarse en la parte posterior del cincel conformando un tándem de máquinas



Figura 26. Cincel de arcos flexible y flejes elásticos traseros

Entre los más difundidos se encontraron los dientes o flejes elásticos vinculados al cincel, con posibilidades de regulación de altura en su conjunto. La función de los mismos es “sellar” la labor, evitando las pérdidas de humedad por capilaridad (Fig26).

Otros accesorios fueron distintos tipos de elementos rotativos, rolos desterronadores, elementos para romper terrones y semi-enterrar residuos vegetales como pueden verse en la figura 27



Figura 27. Cincel de arcos flexibles con paquete de cuchillas delanteras y mecanismos posteriores para el sellado de la labor y semi enterrado de residuos

Regulación de la distancia entre arcos

La distancia entre arcos será un factor más a regular, ya que la misma variará, entre otros en función de la velocidad de trabajo, la profundidad de labor, el tipo y estado del terreno y la cantidad de rastrojo presente. En líneas generales puede decirse que el factor fundamental que rige la distancia entre las líneas de acción de los arcos sobre el terreno será la profundidad de labor y que la distancia entre arcos deberá disminuirse cuanto menor

sea la profundidad de trabajo y podrá aumentarse cuando se trabaje a mayores profundidades. Sin embargo, la disminución de la distancia entre arcos se ve limitada por la cantidad y calidad de rastreo presente y la posibilidad de atorarse con el mismo. Desde el punto de vista energético, los procesos denominados de interacción entre órganos activos favorecen una clara disminución de la resistencia específica al laboreo (esfuerzo de tracción / área roturada). A tales efectos, la estructura del bastidor será determinante de las posibilidades de modificación de la distancia entre las líneas de trabajo de las rejas. Tal como puede apreciarse en las figuras que muestran equipos completos, el bastidor no siempre es una estructura tan sencilla como parece en primera instancia. En parte, los esfuerzos de tracción que demandan las rejas someten a la estructura a tensiones complejas que obligan a los diseñadores a establecer refuerzos y vínculos entre los distintos sectores o planos de trabajo de los órganos activos. También es necesario ubicar en algunos casos mecanismos de corte de residuos asociados a cada arco en su conjunto a la parte delantera del escarificador. En otras ocasiones, existen además elementos adicionados al bastidor para vincular rolos, rastras de discos, rastras de estrellas o dientes flexibles, según las modalidades de cada región. Por supuesto, que en algún lugar de la parte central del apero, se tomarán los mecanismos de transporte y regulación de la profundidad de trabajo, torretas para el torno en los enganches de tipo continuos y las barras o puntos de articulación del sistema de enganche.

Todos ellos, en su conjunto, establecen la existencia de “puntos muertos” en el bastidor, en los cuales por lo general no se pueden ubicar las grampas que sostienen los arcos o los mismos arcos por su forma de fijación o mecanismos de zafe que poseen. Resulta entonces importantísimo, dada la entidad que alcanza la distancia entre líneas de acción de las rejas sobre el terreno, efectuar antes de la compra de un escarificador un análisis minucioso de las distancias a las que efectivamente pueden desplazarse los arcos sobre el bastidor para alcanzar la regulación deseada. Es recomendable para ello, primero esquematizar la estructura del bastidor y los diferentes puntos de refuerzo y vínculos que limiten el desplazamiento y ubicación de arcos, con sus respectivas medidas. Luego, a partir de las profundidades medias a las cuales se piensa trabajar y al menos una profundidad alternativa superior e inferior, se deberá calcular la distancia entre líneas de acción de cada una de ellas. Por último evaluar la posibilidad de ubicación de los arcos sobre el bastidor, de manera que el mismo constituya una base flexible para una labor eficiente desde el punto de vista operativo y energético.

Procesos de interacción

Los escarificadores, cualquiera sea su diseño constructivo básico y objetivos de labranza que alcanzan los mismos, se diferencian de las otras máquinas usadas para labranza en los procesos de interacción desarrollados entre los órganos activos. Estos procesos, por lo tanto, también ocurren en los descompactadores del tipo de montantes rígidos, rectos o angulados. Esta característica diferencial surge de la forma de roturación, es decir de los patrones de trabajo de los distintos órganos activos, principalmente a partir de los efectos producidos bajo el sistema de fallas crecientes. Una manera de definir en forma sencilla el concepto es identificar el predominio de los efectos laterales al órgano activo, en relación al área de suelo directamente en contacto con la reja del apero. De su comprensión dependerá la correcta selección y preparación del implemento para la realización de la labor, como así también la eficiencia de roturación de la capa compactada y la energía requerida para la realización de la labor

Con referencia al trabajo desarrollado por órganos activos adyacentes, Willat & Willis (1965) mencionaron que cuando dos de ellos operan con un determinado distanciamiento entre sus rectas de acción, los perfiles de roturación que producen pueden superponerse, existiendo dos condiciones limitantes: cuando el distanciamiento es lo suficientemente reducido como para producir un perfil de trabajo plano en profundidad, y, por otra parte,

cuando el mismo alcanza una magnitud tal que se forman perfiles de trabajo independientes, designando con el nombre de interacción a la situación intermedia de superposición de los perfiles trabajados. Un distanciamiento de 305 mm (12 pulgadas) podía provocar un camellón sin disturbar entre órganos adyacentes de una altura igual a tres cuartas partes de la profundidad de labor, tornando imprescindible realizar un segundo pasaje para lograr una adecuada roturación y mencionando como adecuado un distanciamiento de 228.6 mm (9 pulgadas), que si bien podría provocar un incremento en el esfuerzo traccional, debido a la necesidad de mayor cantidad de órganos activos para un determinado ancho de trabajo, eliminaría la necesidad de una segunda labor.

De las situaciones descritas existen dos que se verifican en la mayoría de los escarificadores: En los planos de acción delanteros de los mismos, la distancia entre órganos activos adyacentes en un mismo plano implica que el trabajo lo realicen sin interacción, en forma aislada o individual. En los planos de acción posteriores, los órganos activos trabajarán el suelo entre las líneas de acción de las rejas delanteras, con interacción, o sea con superposición entre los perfiles trabajados por las rejas traseras con las líneas adyacentes delanteras

Sobre la misma temática, Soomro et al., (1982), señalaron que cuando dos órganos activos trabajan a una determinada distancia, la interferencia de uno sobre los límites de trabajo del otro provoca un considerable cambio en los requerimientos energéticos de ambos y tiene influencia sobre la disturbación de suelo resultante. Determinaron, además, que dos rejas operando con interacción a la misma profundidad producen una mayor disturbación del suelo que trabajando en forma aislada, con una reducción del esfuerzo de tracción (Fig. 28).

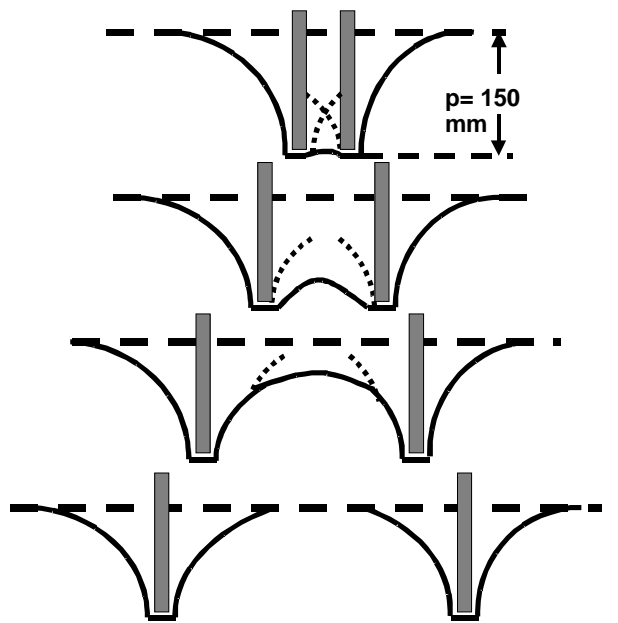


Figura 28: Proceso de interacción, a profundidad constante, para diferentes distanciamientos entre órganos activos. (Adaptado de Soomro et al., 1982).

De acuerdo a estos autores, el esfuerzo de dos rejas interdependientes es función de la distancia entre ellas y la profundidad de trabajo. El mínimo esfuerzo se encuentra cuando la distancia es igual a 0.34 veces la profundidad, siendo el esfuerzo un 10% mayor que para una única reja. El esfuerzo se torna máximo para distancias de 0.043 veces la profundidad (extremadamente cercanas), y para distanciamientos equivalentes a 2.5 veces la profundidad, cuando trabajan independientemente. Concluyeron que las rejas interactuando

con un espaciamiento de 1 a 1.5 veces la profundidad de trabajo producen una gran remoción de suelo con un menor esfuerzo con respecto a rejas sin interacción.

Ensayos llevados a cabo por Godwin et al., (1984) arrojaron como resultado valores mínimos de resistencia específica y uniformidad en el laboreo con espaciamientos entre órganos activos del orden de 1.4+/- 25% veces la profundidad de trabajo (Fig. 30)

La metodología para la determinación de los parámetros de área removida, esfuerzo de tracción y resistencia específica al laboreo es en todos estos trabajos similar. El área roturada por los escarificadores es evaluada a partir de la remoción manual del suelo, buscando retirar la totalidad de los agregados generados por el paso de las rejas. En cierta medida, la evaluación se torna subjetiva, principalmente en los estratos inferiores del suelo, cercanos a la máxima profundidad de trabajo de las rejas. No existen mayores problemas para establecer la máxima profundidad de trabajo, pero hallar los límites del fracturamiento lateral se torna dificultoso en los trabajos con rejas interactuando, más que en aquellos en los que se evalúa el trabajo de un único órgano activo o los mismos no se encuentran lo suficientemente cercanos para comportarse de manera interdependiente. En la zona de interacción suelen presentarse fracturas, líneas de falla, que pueden ser confundidas por la presencia de líneas de fractura que se corresponden con el tipo de agregados y estructura característica del suelo. Por ello, cuando se desea establecer con un mayor grado de certeza aspectos vinculados al área roturada, mayoritariamente se ha trabajado en canales edafométricos, en los cuales el suelo es preparado de manera lo más uniforme posible y compactado aplicando una metodología estandarizada que permita una mayor objetividad de la evaluación.

Una vez retirado el suelo trabajado por los órganos activos, queda al descubierto el perfil característico de la labor, tal como los que se han esquematizado en la figura 28. Los mismos son obtenidos en los primeros trabajos y aún en algunas condiciones de campo con la ayuda de un perfilómetro, similar al que muestra la figura 29



Figura 29 Fotografía de un perfilómetro de varillas correspondiente a la evaluación del trabajo de un descompactador de montantes angulados laterales tipo Paratill.

Con posterioridad y a partir de las lecturas de profundidad de cada varilla se procede a calcular el área total trabajada por el o los órganos activos en su conjunto.

Actualmente dos son las metodologías más utilizadas para estos fines. Por un lado, una vez retirada en forma manual el suelo trabajado por el apero se utilizan distanciómetros láser que toman lecturas a distancias preestablecidas y envían los datos a un data logger

para su posterior procesamiento. Por este medio se cambia la metodología de medición pero no la forma de determinación del perfil trabajado que sigue siendo manual. Por otra parte, desde hace ya muchos años, se ha comenzado a utilizar una metodología indirecta para evaluar el aflojamiento del suelo, como es la resistencia a la penetración por medio de penetrómetros de cono o perfilómetros que cuentan con la totalidad de sus varillas vinculadas a celdas de carga que permiten establecer la resistencia en forma continua o discontinua a intervalos predeterminados. Si bien la metodología resuelve muchos problemas operativos en el trabajo en laboratorio en canales edafométricos, su implementación a campo resulta algo más dificultosa. Algunos de los inconvenientes surgen del hecho que el suelo no es removido manualmente, sino que la evaluación se hace desde la superficie hasta superar la máxima profundidad de trabajo de la reja. En muchas circunstancias, el instrumental presenta márgenes de seguridad que limitan y abortan la medición cuando se superan ciertos valores de resistencia a la penetración. Tal como fuera explicado anteriormente, en la zona de interacción suelen producirse fallas o fracturas por el trabajo de las herramientas, sin que el sector del suelo entre las fallas (dispuestas en forma más o menos horizontal) haya modificado sustancialmente su densidad aparente y resistencia a la penetración en relación con la situación original. Por lo tanto es altamente probable que en condiciones de campo ese tipo de fisuras no puedan ser correctamente detectadas por los equipos.

Los valores de esfuerzo de tracción, son obtenidos por las metodologías tradicionales, por medio de dinamómetros de tracción que permiten integrar las mediciones puntuales efectuadas también con intervalos preestablecidos

Por último, la resistencia específica al laboreo o coeficiente de labranza, tal como era denominado anteriormente, se obtiene relacionando los parámetros de área removida y esfuerzo de tracción

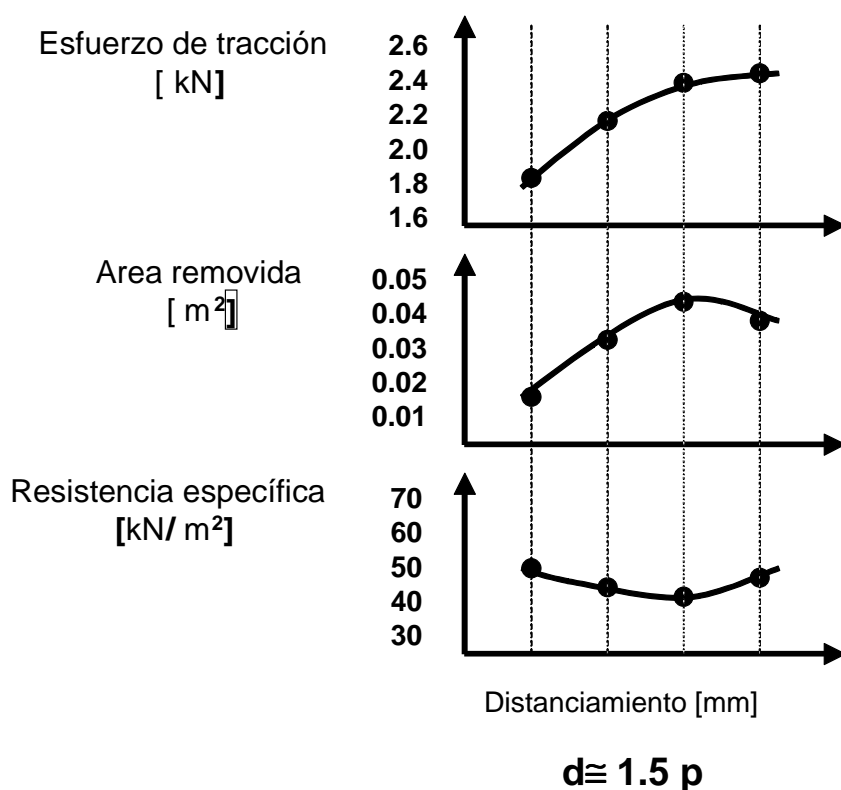


Figura 30. Relación entre esfuerzo de tracción y area removida en función del distanciamiento entre órganos activos. (Adaptado de Godwin et al., 1984).

Si bien los límites de distanciamiento, entre líneas de acción de las rejas, encontrados por estos autores, entre 1,05 y 1,75 parecen amplios, los valores medios de 1,4 a 1,5 veces la profundidad de labor son altamente consistentes, en acuerdo con resultados obtenidos en numerosos ensayos experimentales realizados en canales edafométricos y en campo. En este sentido, Benez et al., (1991), en trabajos con subsoladores, informaron que las relaciones distanciamiento entre arcos/profundidad de trabajo y profundidad de trabajo/ancho de reja con mejor desempeño en cuanto a ancho de labor y área de suelo removida se hallaban en valores de 1.5 y 6.35, respectivamente.

Tal como fuera dicho anteriormente, la regulación de la distancia entre las líneas de acción a nivel de campo tendrá una gran importancia, desde el punto de vista operativo, relacionado a las posibilidades de atoraduras con residuos de cosecha, como desde el punto de vista energético, para disminuir los costos de combustible, desgaste de rodados y personal. Esto resulta relevante también en el momento de compra de la maquinaria. Los autores mencionados, en los últimos años, se han inclinado por recomendar en forma general la realización de un arreglo espacial de los órganos activos, de forma tal que la distancia entre líneas de acción sea como base 1,5 veces la profundidad de trabajo del implemento, dejando de lado el valor de 1,4 y los límites referenciales de 1,05 y 1,75. De esta forma, se llega a poder interactuar y favorecer sin demasiadas dificultades la correcta armonización de dichas variables con los operarios agrícolas, sin que las relaciones matemáticas constituyan una barrera a la comunicación.

Si las condiciones operativas del escarificador se alejan de las consideradas normales, se deberá prever que la distancia entre líneas de acción deberá disminuir, puesto que también se achicarán los efectos de roturación lateral, por lo que disminuirá la zona de interacción entre los órganos activos. Si las condiciones de roturación son óptimas, podrá hipotetizarse que aumentarán los efectos laterales y el sector no trabajado entre los órganos activos disminuirá, reduciendo el lomo característico de la labor. Ante esta situación, sería recomendable aumentar la distancia entre líneas, buscando una disminución de la resistencia específica, a expensas de una menor uniformidad en la profundidad de labor.

Para resolver estas cuestiones, no es posible generalmente hacer ensayos experimentales que permitan establecer con certeza el mejor arreglo espacial (mejor distribución) de los arcos. Pese a ello, es casi una obligación remover el suelo manualmente o con la ayuda de una pala, visualizar el grado de interacción, a través de la altura del lomo entre los órganos activos que trabajan en forma consecutiva el suelo y tomar una determinación al respecto: juntar o separar los arcos. Lo antedicho, lamentablemente, raras veces ocurre. Por lo habitual, la preocupación de los operarios se centra en la nivelación de los equipos y en alcanzar la profundidad de trabajo pretendida. Muchas veces, ni siquiera este último aspecto se efectúa correctamente, ya que se mide sin tener en cuenta la elevación de la cota del terreno. En otras ocasiones, si los defectos de roturación entre los arcos son demasiado notorios, alcanzando casi la superficie del terreno, se procede a juntar los arcos, en la medida que la presencia de residuos en superficie permita hacer la labor. Difícilmente acontezca lo contrario: si al revisar el trabajo realizado en los primeros pasajes, la altura del lomo es extremadamente baja, no se alejarán los arcos buscando una mayor eficiencia energética, sino que se priorita lograr una mayor uniformidad en la profundidad de labor. Seguramente, las dificultades que se producen a nivel de campo para el desplazamiento de los montantes sobre el bastidor, y los tiempos que la operación de alistamiento implica, pesen más que la posibilidad de reducir los costos generales del trabajo de escarificación. Estos inconvenientes se incrementan en la medida que aumenta el número de arcos, es decir el ancho de labor. La modificación de 0,10 m de la distancia entre líneas no es de hecho correr solamente 0,10 m lateralmente todos los montantes.

Solamente podrán moverse 0,10m los arcos centrales (en escarificadores de número par de arcos) o los adyacentes al central (en un escarificador de número impar de órganos activos). La próxima línea de acción deberá moverse 0,20 m y así en forma sucesiva. Por lo general, son pocos los que pueden desplazarse sobre el bastidor, sin tener que sacar directamente el conjunto del montante y sus acoples, por los refuerzos o puntos muertos, que lo impiden. Otros directamente deberán colocarse en otro plano de acción, por lo que una operación que técnicamente no admite discusión, operativamente resulta de difícil ejecución.

Dinámica del conjunto tractor-escarificador

Las características de la producción agropecuaria en la República Argentina, en forma extensiva, sobre grandes superficies, ha generalizado el uso de equipos de arrastre en la mayoría de los sistemas de producción de granos y carnes de la región central del país. Esto determina que su utilización requiera por parte de técnicos y usuarios una esmerada selección y preparación para optimizar el rendimiento de tracción de los conjuntos tractor apero, especialmente durante las labores de labranza del suelo. En las producciones intensivas en cambio, predominan los equipos pequeños, de no más de 5 órganos activos, montados, vinculados al sistema de 3 puntos del tractor.

Es conocido, que los equipos de tracción libre, resultan los menos eficientes en lo referente a la magnitud de la carga vertical y a la transferencia dinámica de peso, mientras que los equipos integrales o montados sobre el tractor brindan los máximos beneficios, resultando los aperos semimontados, intermedios entre los mencionados anteriormente. Al respecto, Zoz (1972) estima el coeficiente de transferencia para equipos de arrastre en un 25% del esfuerzo traccional, siendo del 45 % y 65% para los equipos semimontados y montados respectivamente, en forma independiente del apero utilizado, su diseño y enganche. Esta transferencia de cargas hacia el rodado de tracción adquiere mayor relevancia en los equipos de tracción simple (2WD) que en los tractores con asistencia de tracción en el eje delantero (FWA) o doble tracción de ruedas iguales (4WD). Sobre los diseños 2WD, Zhang y Chancellor (1989), concluyeron que podía alcanzarse una mejora potencial del 20% en el rendimiento del tractor cuando el peso sobre el eje delantero se reduce del 30% al 13% (por efecto de la transferencia antero - posterior de peso).

El comportamiento dinámico de implementos de labranza vertical fue estudiado en la década pasada por Balbuena y Terminiello (1993), quienes trabajaron con escarificadores de cinceles de arcos flexibles de tracción libre. Para ello, instrumentaron un tractor de diseño convencional con celdas de carga, que permitían diferenciar las componentes verticales (V) y horizontales del esfuerzo de tracción (T). A partir de los datos obtenidos efectuaron los cálculos de las cargas dinámicas que ocurren sobre el eje de tracción y que sumadas al peso estático del vehículo, determinan el peso adherente (Q_a) sobre el mismo. En el promedio de mediciones y cálculos efectuados, determinaron coeficientes de transferencia dinámica del orden de 0,42 a 0,58, para distintas profundidades de labor, tomando al mismo como la relación existente entre las cargas dinámicas generadas y el esfuerzo de tracción. Concluyeron que los mismos se comportan dinámicamente como equipos semimontados, si se toma como referencia los valores indicados oportunamente por Zoz (1972). Una explicación a estos efectos puede ser deducida del análisis de fuerzas realizado por Bainer, Kepner & Barger (1982), quienes demuestran que las cargas dinámicas sobre el rodado de tracción del tractor pueden ser incrementadas en los implementos de un solo eje de ruedas en la medida que las mismas se desplacen hacia atrás, por la modificación de la pendiente resultante de las fuerzas que actúan sobre el implemento. En la figura 31 se muestran las componentes de las fuerzas actuantes en un escarificador de cinceles, que obtiene el soporte en el plano vertical solamente a través de sus ruedas. En la misma W constituye el peso del equipo, R_v el esfuerzo de tracción por la resistencia del suelo al laboreo y P_v la resultante de

las fuerzas actuantes sobre el equipo en su conjunto. En este caso, el punto de aplicación de Q_v es fijo y la línea de acción de Q_v debe pasar ligeramente por detrás del centro del eje para permitir la rotación de las ruedas. El punto G está dado por la intersección de AB y Q_v y la línea de tiro es a través del punto G y el punto F de acoplamiento al tractor.

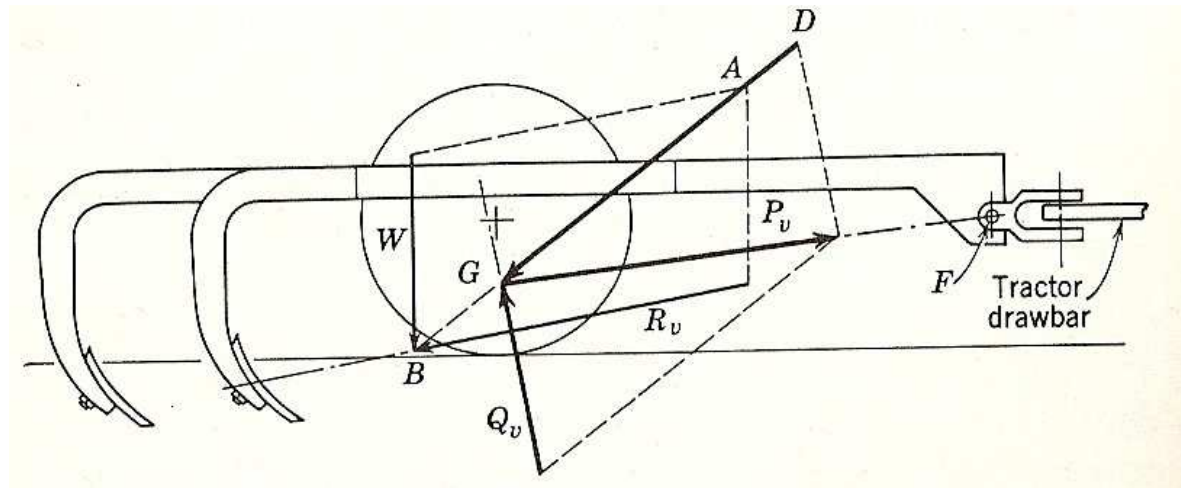


Figura 31. Análisis de las fuerzas actuantes sobre un escarificador de cinceles de arrastre con un solo eje de ruedas (Bainier Kepner & Barger, 1982).

Tal como fuera analizado cuando se describió el sistema de rodado de los escarificadores modales, la mayoría de ellos dispone las ruedas en una posición intermedia entre los planos de acción delanteros y traseros a los efectos de balancear entre las ventajas y desventajas que se presentan ante el desplazamiento hacia uno u otro extremo. En los modelos más recientes y de mayor desarrollo antero posterior (bastidores más largos), la posición de las ruedas en posición de trabajo se ubican cercanas al tercer plano de escarificadores y a veces entre el tercero y el cuarto (en aquellos que poseen 4 planos de trabajo). En estas circunstancias, una parte importante de las cargas verticales serán como explican Kepner, Bainier y Barger (1982) soportadas por el rodado trasero del tractor a través de las cargas ejercidas sobre la barra de tiro.

En función de lo expuesto, la posición de la barra de tiro del tractor deberá armonizarse en función del diseño de tractor (2WD, FWA o 4WD) y la distribución de lastres que el mismo posea.

Empíricamente, muchos operarios agrícolas toman conocimiento de la magnitud de las cargas dinámicas asociadas al trabajo con escarificadores de tracción libre a partir de diferentes aspectos relacionados con las mismas, aunque nunca lo hayan podido cuantificar. Uno de ellos es el patinamiento del tractor. Frecuentemente, los tractores no patinan de manera excesiva cuando trabajan con cinceles, escarificadores o descompactadores profundos. Por lo contrario, es el motor del tractor el que habitualmente cae en vueltas, por sobrecarga, cuando se trabaja con altos esfuerzos de tracción y obliga a disminuir una marcha o quitar órganos activos, porque el "fusible" del patinamiento no funciona. Esto se ocasiona a raíz de una serie de factores concurrentes. Entre ellas, pueden destacarse las siguientes:

- a) las condiciones mecánicas del suelo cuando se realizan trabajos con aperos de labranza vertical presentan alta capacidad portante y la resistencia al corte suele ser elevada, debido a la relativamente baja humedad del suelo.

- b) la presencia de restos vegetales suele mejorar, en la medida que los mismos estén secos y tomados del suelo, la capacidad de tracción de los neumáticos
- c) al aumentar el esfuerzo de tracción aumentan significativamente las cargas dinámicas, por lo cual el patinamiento aumentará a una tasa inferior a la de otros aperos de tracción libre. Si el equipo se dimensiona tratando de sacarle al tractor la máxima eficiencia tractiva global (el tractor trabaja con valores de par motor muy cercanos al par nominal) el tractor tenderá a entrar en sobrecarga antes que el patinamiento alcance valores incompatibles con un funcionamiento eficiente del conjunto.

La carga vertical obtenida en el trabajo con escarificadores montados, alcanzaría valores cercanos a los mencionados anteriormente, en la medida que se trabaje con las ruedas apoyadas sobre el suelo en forma permanente. Sería recomendable, en la medida de lo posible, no apoyar las ruedas y trabajar con esfuerzo controlado, incrementando la transferencia dinámica sin comprometer al motor. En caso de amplias variaciones del esfuerzo de tiro que produzcan que la profundidad de trabajo resulte demasiado desuniforme, se deberá pasar a la forma de trabajo de posición flotante, con las ruedas apoyadas. Solamente en terrenos muy uniformes en resistencia específica podrá intentarse trabajar en control de posición o control de carga con la mínima sensibilidad

Controles a realizar en forma previa a la labor

Equidistancia entre arcos

Se deberá medir con un metro la distancia entre los arcos del cincel sobre el bastidor del equipo, modificando la posición de los mismos cuando existan diferencias en las determinaciones entre los arcos, para que se pueda realizar una labor homogénea con una adecuada superposición de los triángulos de ruptura, que permita disminuir el esfuerzo de tracción.

Control de la curvatura de los arcos

Se deberá tender una soga entre los arcos extremos del cincel que se encuentren en cada línea (en vista lateral) y se procederá a desplazarla de arriba hacia abajo siguiendo la curvatura de los arcos. Muchas veces los arcos tienden a deformarse (peinarse) dirigiéndose hacia atrás, lo cual tornará al cincel más inestable y algunas veces más pesado al tiro. Habitualmente, los arcos que se ubican en el primer plano de acción, trabajando sin interacción con otros órganos activos adyacentes o delanteros, serán los que se encuentran sometidos a los mayores esfuerzos y, por lo tanto, a la mayor deformación. Puesto que no resulta común a nivel de campo contar con elementos que permitan la determinación del ángulo de ataque de la reja, es al menos recomendable verificar su estado en relación con otros arcos que hipotéticamente presentan menor deformación. Generalmente, el arco central del último plano de acción es el que ha trabajado la totalidad de las horas de uso con interacción de arcos delanteros adyacentes. Por ello, las deformaciones deberían ser las menores y la curvatura cercana a la original, puesto que ha estado sometida a menores esfuerzos de tracción. En equipos con arcos rígidos se deberá controlar que la posición de los montantes en su vínculo a la pieza de sujeción sea la misma para todos, dada la posibilidad de variación del ángulo de ataque de las rejas que por lo general presentan

Control de las rejas

Deberá controlarse el estado de las puntas de las rejas o púas e Invertirías o reponerlas cuando el desgaste sea excesivo ya que se dificultará la penetración sobre suelos secos y duros. También deberá controlarse el despeje de las rejas (figura 31), controlando que las mismas se encuentren en su posición original. La modificación del despeje, suele ser un indicador de deformaciones permanentes de los arcos que modifican este parámetro por la modificación del ángulo de ataque, lo cual determinará como fue explicado, variaciones de la capacidad de penetración, de la profundidad de trabajo y del esfuerzo de tracción



Figura 31 . El control del estado del equipo, sus órganos activos y medidas originales deben efectuarse de manera periódica

Nivelación del equipo.

El equipo trabajará correctamente cuando en vista lateral el bastidor (una vez clavado el cincel y desplazándose) se halla perfectamente paralelo a la superficie del terreno, con lo cual nos aseguramos que todas las púas trabajen aproximadamente a la misma profundidad. De no ser así, y el equipo se halle más clavado de adelante o de atrás, se corregirá actuando sobre el sistema de enganche de distinta forma según cual sea éste.

Equipos de arrastre

Sistema de enganche discontinuo tipo lanza

Para lograr la correcta nivelación del cincel se actuará sobre la boca de enganche del equipo que se encuentra tomada por un par de pernos a la planchuela vertical perforada que se encuentra en la parte delantera del sistema de enganche, esta nivelación debe realizarse una vez que se halla regulado la profundidad de trabajo. El elemento de enganche se desplazará hacia abajo cuando el equipo se encuentre más bajo en la parte delantera y se elevará sobre el clavijero vertical cuando se desea levanta el equipo en su parte trasera (Fig. 32)

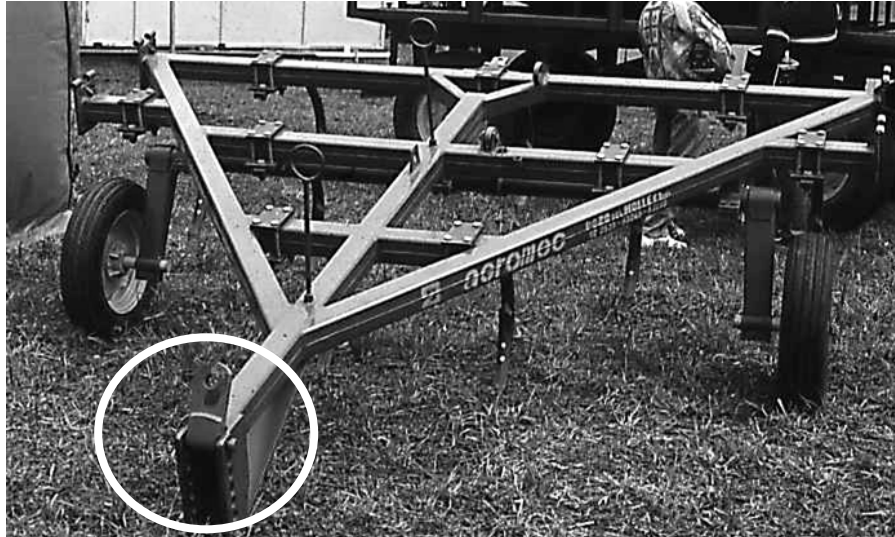


Figura. 32. Sistema de enganche discontinuo con planchuela vertical perforada a la cual se vincula la boca de enganche del equipo

Sistema de enganche de regulación continua tipo lanza articulada

En este sistema para lograr la correcta nivelación del equipo se actúa sobre un torno, por lo cual la regulación es totalmente continua, facilitando a su vez el enganche del equipo al tractor (Fig. 33 a y b)

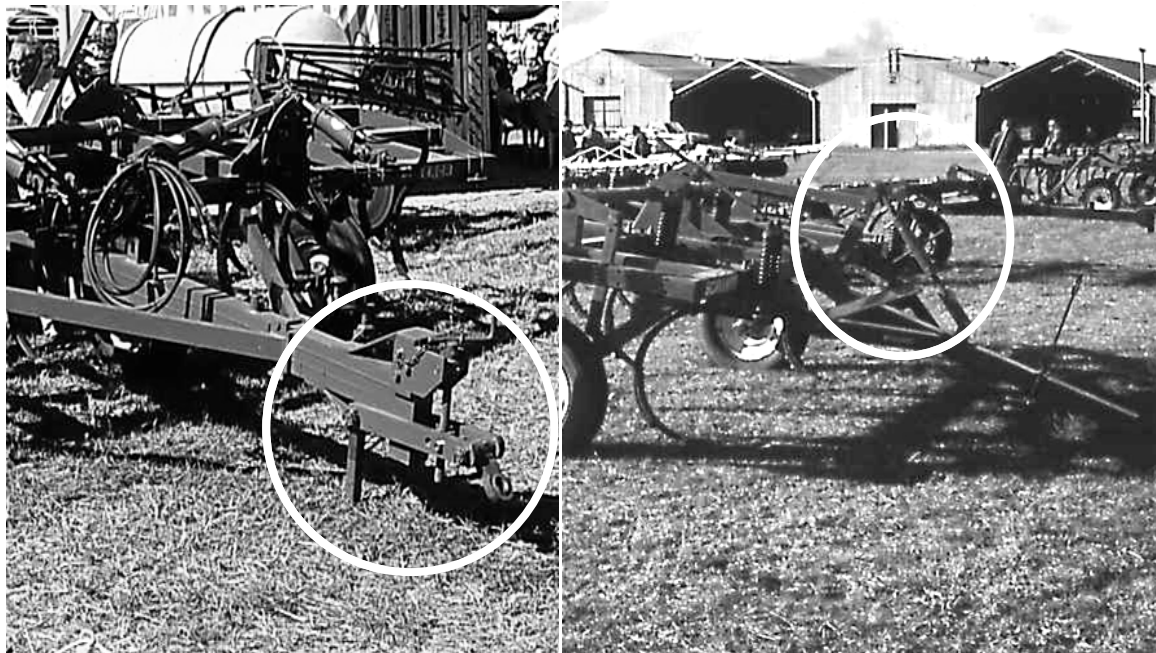


Fig. 33. a) Lanza fija con sistema de regulación continuo delantero. b) Lanza articulada con torreta y torno de regulación continua

Para ello, estos diseños presentan en la mayoría de los diseños una torreta, tomada a la estructura del bastidor, a la cual se vincula uno de los extremos del torno. El otro extremo se une a la lanza, la cual no se encuentra fija al bastidor, sino que presenta una articulación con el mismo, que le permite pivotar a partir de dicho punto de unión (Fig. 26 b). Como consecuencia del diseño descrito, en la medida que el torno se cierra, se eleva el punto de enganche y cuando el mismo se alarga se disminuye la altura de la boca de enganche del

equipo. Cuando el equipo se encuentra acoplado al tractor, el acortamiento del torno produce la elevación de las rejas traseras, mientras que cuando se alarga se incrementa la profundidad de trabajo de las mismas

Equipos montados

En estos equipos (Fig. 34) se nivelará el cincel en 2 planos: uno mirando el equipo desde atrás, transversal a la dirección de avance y otro mirando el equipo en forma lateral, o sea en el plano longitudinal o paralelo a la dirección de avance. En el plano transversal a la dirección de avance la nivelación se hará por medio de la regulación del o de los brazos elevadores derecho e izquierdo (habitualmente el derecho es el que puede regularse con mayor facilidad). En el plano longitudinal, paralelo a la dirección de avance, la nivelación se hará por medio del 3er punto o brazo superior, acortando o alargando el mismo según corresponda, teniendo en cuenta siempre que cuando el mismo se acorta el equipo disminuye la profundidad de las rejas traseras y cuando el mismo se alarga se aumenta la profundidad del último plano de rejas, en forma principal.



Figura 34. Cincel montado, sin ruedas de apoyo