

REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL LABOREO PRIMARIO DEL SUELO



Análisis del consumo de gasóleo que se produce con la utilización de algunos aperos agrícolas, como el arado de vertedera y el chisel, y las opciones que pueden seguirse para reducirlo.

El incremento de los costes de los productos derivados del petróleo causa preocupación en todos los sectores económicos, especialmente en los que más dependen de los combustibles líquidos de origen fósil. En la agricultura, los tractores y las máquinas agrícolas dependen del gasóleo, por lo que se necesita buscar soluciones que permitan minimizar su consumo, de ma-

nera que se procure compensar el continuo incremento en el precio de este combustible.

Las operaciones de trabajo del suelo, especialmente las que se realizan a mayor profundidad, que constituyen lo que se conoce como 'laboreo primario', son las que más combustible consumen. Seguidamente se analiza el consumo de gasóleo que se produce con la utilización de algunos aperos agrícolas, como el

arado de vertedera y el chisel, y las opciones que pueden seguirse para reducirlo.

■ Agricultura y energía

La historia agrícola de la Humanidad se puede decir que comienza cuando se inventa el arado, que, unido a la domesticación de los animales de tiro, hace posible la producción de alimentos para abastecer a una población en crecimiento y que trabaja en actividades diferentes a las de la agricultura y la ganadería.

La energía que proporcionan los animales multiplica la productividad del agricultor, pero no lo suficiente para mejorar su nivel de vida. Hay que esperar hasta la 'motorización' de la agricultura para que el nivel de vida se aproxime al de la población urbana; así, con los primeros tractores la productividad agrícola se multiplica por diez respecto a la que podía conseguirse con la tracción animal.

Pero la energía mecánica se obtiene gracias al consumo de combustibles de origen fósil, cierto que en un grado mucho menor que en otros sectores de producción y de servicios en la sociedad moderna, pero aunque este consumo está por debajo del 5% de la demanda mundial, el encarecimiento progresivo del petróleo está creando dificulta-

des en el sector agrario, más aún cuando no se incrementan en la misma proporción el valor de las cosechas, por lo que hay que buscar soluciones para reducirlo.

Una gran parte del consumo de energía fósil que demanda la agricultura se hace en forma del gasóleo necesario en los tractores para todo lo que se relaciona con la 'preparación de los suelos', por lo cual la racionalización del trabajo del suelo puede ser una de las formas que ayuden a equilibrar el balance económico de muchas explotaciones agrarias.

Sin embargo, cualquier intento para modificar las técnicas de trabajo del suelo encuentra fuerte oposición por parte de muchos agricultores, que ven en el trabajo del suelo la esencia de su profesión, hasta el punto que se consideran, ante todo, 'labradores'.

Esto crea bastante resistencia a la implantación de nuevas tecnologías, como la de la siembra directa, pero también afecta a los cambios en las herramientas más tradicionales para el trabajo del suelo, por lo cual hay que justificar con claridad cualquiera de las modificaciones propuestas.

Diversificación en los aperos para el trabajo del suelo

La homogeneidad que se aprecia en cuanto a las características de determinadas máquinas agrícolas, desaparece completamente cuando se analizan los aperos para el trabajo del suelo. Hay razones que justifican estas diferencias, como la diversidad de los suelos agrícolas, de los climas, de los cultivos, y, también, de la estructura económica de las explotaciones que los utilizan.

Hay aperos sencillos, tradicionales y escasamente evolucionados, frente a otros modernos y sofisticados, a los que es difícil acceder porque se requieren nuevas inversiones para resolver situaciones que, más o

menos, se pueden superar con los aperos ya disponibles en la explotación. En consecuencia, la innovación tecnológica que los nuevos aperos ofrecen hay que justificarla, no sólo técnicamente, sino porque también la nueva inversión es económicamente conveniente.

La situación agrícola, a pesar de su carga tradicional impuesta por la costumbre, y por la seguridad que siempre ofrece muchos años de experiencia en la zona, está sometida a un cambio continuo. Se está produciendo una mejora del conocimiento agronómico, se dispone de tractores más potentes y mejor equipados, y hay nuevos recursos, como unos herbicidas más eficaces. Simultáneamente, se buscan mayores producciones y, especialmente, reducir los costes de producción.

Si a esto se une la diversidad de objetivos en una Agricultura en cambio, en la que factores 'extra-agrícolas', como son las compensaciones derivadas de seguir determinadas prácticas que ayudan a la conservación del ambiente, o para la reducción de cosechas excedentarias que difícilmente se pueden colocar en el mercado, queda clara la necesidad de mejorar la eficiencia en el trabajo del suelo.

Pero la diversidad de la oferta crea cierta confusión, ya que, en el trabajo del suelo, aperos en apariencia muy diferentes, pueden producir un efecto similar. En consecuencia, los cambios hay que hacerlos de manera racional, sin perder de vista la influencia que sobre el beneficio de la explotación pueden tener las nuevas inversiones, y también los costes de funcionamiento de los nuevos aperos, de los que una parte importante corresponden al consumo de combustible.

Satisfacer unas necesidades

Siempre que hay que abordar cualquier modificación en el trabajo del suelo, no se deben de perder de vista los objetivos agronómicos que justifican este trabajo, muy conocidos, pero no siempre suficientemente valorados.

Conseguir un perfil del suelo en el que se desarrolle el cultivo, suficientemente poroso para que sea permeable al aire y al agua; la destrucción de las malezas que competirán con el cultivo; y el enterrado e incorporación de residuos de cosecha, de abonos y de enmiendas, hacen necesario, en bastantes situaciones, un laboreo primario, que afecte a la capa de suelo en la que se desarrollan las raíces. Lo que no parece lógico es que la profundidad de trabajo supere la que verdaderamente se necesita, ya que ello esto supone un incremento del consumo de combustible sin beneficio potencial.

Por otra parte, la colocación de la semilla, en el momento de la siembra, en condiciones de rápida germinación y nascencia, también impone condiciones. Elevar la temperatura del suelo, crear tierra fina que pueda rodear la semilla, asentar el suelo por debajo de la profundidad de siembra para que el agua suba





por capilaridad, dejarlo nivelado para que trabaje adecuadamente la sembradora, condicionan el laboreo secundario y los aperos que lo hacen posible. La sembradora se encargará de completarlo y, de una manera especial, conseguir que la semilla quede cubierta y protegida de los animales que en ella encuentran alimento, y manteniendo la profundidad de siembra en todo el campo.

Todo esto hay que hacerlo de manera que los costes se minimicen, para lo cual la combinación de operaciones para reducir el número de pasadas por la parcela puede ser interesante, pero, sobre todo, reduciendo las intervenciones y las profundidades

de trabajo, con los diferentes aperos, a lo que verdaderamente se necesita.

Por otra parte, los ángulos de ataque de los elementos que mueven el suelo y el grado de pulverización que cada apero consigue influirán sobre el consumo de energía, lo que hay que tener en cuenta cuando se seleccionan los aperos.

El laboreo primario con arado de vertedera

Desde los comienzos de la introducción del tractor en la agricultura se han venido haciendo pruebas para definir la demanda de potencia y el consumo de combustible en las labores más pesadas, como las de arado, en diferentes condiciones de clima y suelo.

La consistencia del suelo (textura y estructura), y su contenido de humedad afectan a la resistencia que ofrece el suelo que se pretende voltear con la vertedera. Cuando se mide esta resistencia de manera experimental aparece una gran variabilidad, con valores que se encuentran entre los 30 y 70 daN/dm² de sección trabajada, siempre contando con que el suelo está en unas condiciones apropiadas de humedad que favorecen este tipo de labor. Si las condiciones son desfavorables la resistencia

al corte y volteo del suelo puede ser mucho mayor, alcanzándose valores próximos a los 100 daN/cm². (El daN equivale aproximadamente a 1 kg/ha)

Para que un arado de vertedera trabaje de manera adecuada conviene que la profundidad de labor sea aproximadamente igual al 70% de la anchura de corte del cuerpo utilizado, con una oscilación admisible del $\pm 15\%$ de esta profundidad. Esto significa que un arado de vertedera con cuerpos de 16 pulgadas (40 cm de anchura de corte) puede trabajar a profundidades entre 21 y 32 cm, con un valor medio aconsejado de 28. En consecuencia, la profundidad de trabajo que se necesite debe de servir de referencia para elegir la anchura de los cuerpos en un arado, con independencia del número de cuerpos que monte, ya que de esta manera el arado trabaja mejor y demanda un menor esfuerzo de tracción.

Tomando como velocidad real de avance la de 6.5 km/h, sobre la base de los ya indicados valores experimentales de resistencia del suelo (30 a 70 kN/dm²), la potencia necesaria por cada decímetro de anchura de trabajo se puede calcular con la expresión:

$$\text{Potencia [kW/dm de anchura]} = \frac{\text{profundidad [cm]} \times \text{resistencia [kN/dm}^2\text{]} \times \text{velocidad [km/h]} / 3600$$

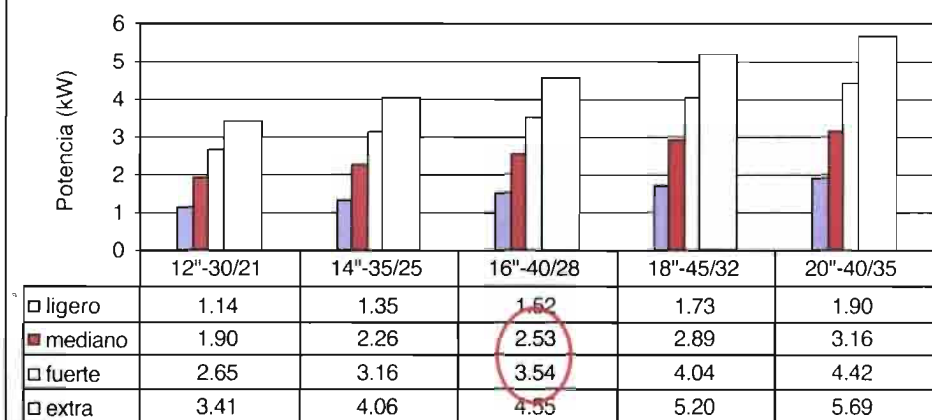
Aplicando esta expresión matemática se obtienen los valores que aparecen en el Gráfico 1.

En consecuencia, trabajando con un trisurco de 16", lo que indica que la anchura de labor debería de ser de $40 \times 3 = 12$ decímetros, la potencia neta a la barra requerida por el arado, trabajando a 25 cm de profundidad en un suelo de tipo medio sería de:

$$2.53 \text{ [kW/dm]} \times 12 \text{ [dm]} = 30.3 \text{ kW}$$

Lógicamente, el motor del tractor tiene que suministrar una

Gráfico 1.- Potencia de tracción por decímetro de anchura de trabajo en distintos tipos de suelo



potencia mayor, ya que hay que contar con las pérdidas en la transmisión, y con las que se producen por rodadura y por deslizamiento. Así, en un rastrojo en buenas condiciones de humedad se puede considerar que la potencia de tracción máxima disponible puede ser del 75% de la del motor, por lo que, para conseguir los 30.3 kW, al menos se necesitan $30.4/0.75 = 40.4$ kW.

En este cálculo todavía no se ha considerado, por una parte, la potencia que se necesitaría para superar pendientes, y por otra, la que demandan otros elementos que funcionan en el tractor, como el sistema hidráulico o el aire acondicionado.

SU CONSISTENCIA (TEXTURA Y ESTRUCTURA) Y SU CONTENIDO DE HUMEDAD AFECTAN A LA RESISTENCIA QUE OFRECE EL SUELO QUE SE PRETENDE VOLTEAR CON LA VERTEDERA

También hay que considerar el punto de funcionamiento del motor, que nunca podrá ser el de plena potencia, sino, como máximo el 75-85% de ésta. Por último, el motor perderá potencia con el uso por lo que conviene contar con un margen suficiente.

En consecuencia, los 30.3 kW se pueden convertir en prácticamente el doble, o sea 60.7 kW, que equivalen aproximadamente a 82.5 CV, algo razonable, para arrastrar un trisurco de 16 pulgadas en un suelo de tipo medio, con profundidad de 28

cm. Se podría ser más preciso para unas condiciones mejor definidas, pero la variabilidad en la resistencia del suelo con sólo el cambio del contenido de humedad, hace que convenga actuar con un buen margen de seguridad.

Unos cálculos similares pueden aplicarse a los arados de disco, a partir de los cuales se deduce que las demandas de potencia son similares a las de arados de vertedera que trabajen con la misma anchura y profundidad de actuación.

El consumo de combustible con el arado

El consumo de combustible con esta labor se podría calcular en función del consumo específico a partir de la potencia del tractor elegido, suponiendo que trabaja con un régimen de carga media-alta. En estas condiciones se estima que el consumo sería de 0.207 L/h.kW, lo que equivale, para un tractor de 60.7 kW, a 12.6 L/hora.

La capacidad efectiva de trabajo conseguida en estas condiciones, con un trisurco de 16 pulgadas, que alcanzará una anchura de trabajo de 1.20 m a ve-

locidad real de 6.5 k/h, y con 0.8 de eficiencia en parcela será:

$$C_{ef} = \text{anchura [m]} \times \text{velocidad [km/h]} \times \text{eficiencia} / 10$$

o sea:

$$C_{ef} = 1.20 \text{ [m]} \times 6.5 \text{ [km/h]} \times 0.8 / 10 = 0.624 \text{ ha/h}$$

En consecuencia, el consumo de combustible por hectárea labrada será:

$$\text{Consumo} = \text{consumo [L/h]} / C_{ef} \text{ [ha/h]} = 12.6 \text{ [L/h]} / 0.624 \text{ [ha/h]} = 20.1 \text{ L/ha}$$

Si se hubiera considerado un suelo fuerte (70 daN/dm² de resistencia al corte y volteo), lo que puede ser como consecuencia de mayor contenido de arcilla o de que el contenido de humedad en el momento de arar no es el adecuado (suelo seco o muy húmedo), con el mismo arado y manteniendo la velocidad de trabajo, la potencia necesaria habría subido a 85 kW, equivalente a unos 115 CV.

El consumo de combustible, sobre la base de 0.207 L/h.kW, aplicado ahora a 85 kW sería 17.6 L/h, y a 28.2 L/ha.

Estos valores calculados se pueden comparar con los valores medidos en diferentes determinaciones experimentales; algunas recientemente publica-



TABLA 1.
CONSUMOS MEDIDOS ARANDO CON VERTEDERA

Consumo (L/ha)	Textura suelo / profundidad trabajo				
	Apero	ligera/baja	ligera/alta	pesada/baja	pesada/alta
Vertedera (28 cm)		18	22	26	30

das, como la que resume las medidas de campo, efectuadas sobre tractores de agricultores trabajando en sus parcelas, por profesores de las Universidades de Castilla-La Mancha (Albacete) y de León, en un estudio financiado por el MAPA; también se puede encontrar información complementaria en los ensayos de campo publicados, aunque en estos casos hay que tener en cuenta que los tractores han sido manejados por especialistas y se encuentran óptimamente regulados para conseguir las mejores prestaciones posibles.

En el citado estudio publicado por el MAPA, para labores de vertedera, sobre la base de 28 cm de profundidad, se dan los consumos, en L/ha, que aparecen en la Tabla 1.

Esto quiere decir que los cálculos anteriores se aproximan a los valores medidos para un conjunto de agricultores trabajando en suelos de consistencia media: 20 L/ha en suelos ligeros y 28 L/ha en suelos pesados, lo que sirve para validar el procedimiento de cálculo utilizado en el análisis.

Como las condiciones de suelos fuertes y secos son frecuentes en lo que se conoce como 'España Seca', predecir el consumo de combustible en arada a razón de un litro por cada centímetro de profundidad, suele dar valores bastante aproximados a los reales, especialmente cuando está también la influencia de la pendiente, que no ha sido considerada en los cálculos anteriores.

Esto significa que a 28 cm de profundidad el consumo puede ser de 28 L/ha en un suelo fuerte, pero también que por cada centímetro en el que se re-

PREDECIR EL CONSUMO EN ARADA A RAZÓN DE 1 L x cm DE PROFUNDIDAD, SUELE DAR VALORES MUY APROXIMADOS A LOS REALES

duzca la profundidad de trabajo, el consumo se reduce a razón de 1 L/ha. En consecuencia, si con 20-22 cm hay suficiente para el cultivo considerado, como sucede con los cereales de invierno, no tiene sentido arar a 30-32 cm de profundidad, como se hace en muchas ocasiones. Para el caso de que se quieran eliminar suelas de labor para facilitar el drenaje del suelo, los subsoladores y descompactadores pueden hacerlo con más eficacia, y con menor consumo de combustible.



Utilizando un tractor más potente

Suele ser bastante frecuente que cuando se renuevan los tractores, el nuevo supera ampliamente la potencia del anterior, pero los aperos siguen siendo los mismos.

Analizando el caso de un arado de vertedera de 16" trabajando en un suelo ligero a 28 cm de profundidad se dedujo que con 83 CV de potencia habría suficiente, y de esta manera el consumo de combustible estaría alrededor de 20 L/ha.

Si el propietario decide comprar un tractor de más potencia, como pueden ser uno de 120 CV, el consumo de combustible aumentaría como consecuencia de que, al trabajar el motor del tractor con menor carga, se hace menos eficiente. Con un nivel de carga medio, el consumo esperado sería de 0.150 L/h por cada kW de potencia (frente a los 0.207 L/h.kW con carga alta), que aplicado a los 88 kW de potencia del nuevo tractor, llevaría a 13.2 L/h y a 21 L/ha, o sea 1 L/ha más con el nuevo tractor más potente trabajando con el mismo trisurco.

En consecuencia, comprar un tractor con potencia en exceso para los aperos disponibles, no es la mejor opción cuando el combustible es caro y su precio aumenta constantemente.

El chisel como alternativa

Cada vez es más frecuente en los medios áridos sustituir el arado de vertedera por otros aperos como el chisel, solo o combinado con discos selladores y rodillos, para hacer el laboreo primario en una sola pasada.

El menor contenido de humedad necesario para esta labor, la mayor velocidad de trabajo que puede conseguirse, así como un efecto sobre el suelo más favorable si se necesita controlar la erosión, hacen del chisel un apero interesante para las zonas agrícolas en las que el agua es escasa, como sucede en los países de área mediterránea.

También el chisel permite un ahorro en el consumo de combustible, en primer lugar como consecuencia de que la profundidad de trabajo suele ser menor que con la vertedera. Esto no sucede cuando se confunde lo que debe de ser una labor con chisel y se pretende que este apero trabaje como un subsolador-descompactador a 30 cm de profundidad.

En la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos al calcular la potencia necesaria para arrastrar un chisel de 3 m de anchura de trabajo a 8 km/h de velocidad real, a profundidades de 18 y 20 cm en un suelo ligero y en un

TABLA 2.
POTENCIA NECESARIA PARA UN ARADO CHISEL DE 3 m DE ANCHURA A 8 km/h DE VELOCIDAD REAL

Con resistencia específica: 30 daN/m (suelo normal)

Profundidad (cm)	Potencia neta tracción (kW/m)	Potencia neta tracción (kW)	Tractor recomendado (kW)	Tractor recomendado (CV)
18	12.00	36.0	72.0	97.9
22	14.67	44.0	88.0	119.7

Con resistencia específica: 50 daN/m (suelo fuerte)

Profundidad (cm)	Potencia neta tracción (kW/m)	Potencia neta tracción (kW)	Tractor recomendado (kW)	Tractor recomendado (CV)
18	20.00	60.0	120.0	163.2
22	24.44	73.3	146.7	199.5

TABLA 3.
CONSUMOS DE COMBUSTIBLE TRABAJANDO CON CHISEL DE 3 m DE ANCHURA A 8 km/h DE VELOCIDAD REAL

Suelo	Profundidad (cm)	Consumo horario (L/h)	Capacidad de trabajo (ha/h)	Consumo superficial (L/ha)
ligero	18	14.9	1.92	7.8
	22	18.2		9.5
fuerte	18	24.8	1.92	12.9
	22	30.4		15.8

TABLA 4.
CONSUMOS MEDIDOS ARANDO CON CHISEL

Consumo (L/ha)	Textura suelo / profundidad trabajo				
	Aperos	ligera/baja	ligera/alta	pesada/baja	pesada/alta
Chisel (22 cm)		9	12	15	18

suelo fuerte, teniendo en cuenta que la resistencia específica del suelo al paso de este apero es algo menor que con la vertedera.

El consumo de combustible con este apero en los diferentes casos, utilizando para los tractores con la potencia correspondiente el coeficiente de consumo de 0.207 L/h.kW (carga del motor alta), permite deducir los siguientes consumos de combustible que aparecen en la Tabla 3.

Los valores de consumo obtenidos en las medidas de campo que aparecen reseñadas en la citada publicación del MAPA, y que se presentan en la Tabla 4, son algo más altos que los anteriormente calculados, lo que es una consecuencia del exceso de profundidad con el que habitualmente se trabaja con este tipo de apero, como si se tratara de un descompactador.



Cuando los brazos se hacen trabajar a mayor profundidad, el ángulo de ataque del brazo en el suelo se hace recto, o incluso obtuso, con lo cual se producen sobrecargas que hacen aumentar la resistencia al avance, lo que sólo puede vencerse trabajando más despacio, algo que siempre afecta negativamente a la calidad del trabajo del chisel.

En resumen, el chisel trabajando a una profundidad máxima de 20-22 cm, es un apero que permite reducir el consumo de combustible con respecto al del arado de vertedera, en gran parte como consecuencia de que trabaja a menos profundidad y con menor grado de pulverización del suelo.

Sin embargo, cuando la labor del chisel se suficiente, como puede ser el caso de la preparación del suelo en medios semi-áridos para los cereales de invierno, se pone de manifiesto sus posibilidades para ahorrar gasóleo en alternativa a la verte-

dera. Además, es una herramienta que, por el tipo de perfil superficial que deja y por el menor grado de enterrado de los residuos superficiales, ayuda a controlar la erosión en suelos en pendiente con una marcada pluviometría estacional, en los que las malezas no son demasiado problemáticas.

■ A modo de conclusión

De lo anteriormente expuesto se deduce que el consumo de combustible en el trabajo del suelo depende, en primer lugar, de la profundidad de intervención, de manera que con una arada superficial, como la que se realiza con arados de cohecho, este consumo puede reducirse. Esto puede aplicarse a todos los aperos arrastrados, tanto en el laboreo primario como en el secundario; el consumo de combustible está siempre relaciona-



do con la profundidad de intervención.

Trabajar con chisel es una opción para reducir el consumo de combustible, siempre que la profundidad de trabajo se mantenga en niveles para los que están diseñados los brazos. Para que la labor del chisel sea la adecuada, la velocidad de trabajo debe de ser alta, siempre por encima de 7-8 km/h, lo cual demanda elevada potencia en el motor, aunque el esfuerzo de tracción no se tan alto, ya que se desarrolla a mayor velocidad que con la vertedera.

También la compatibilidad tractor apero es muy importante; así, trabajar con tractores más potentes de lo que se necesita, para arrastrar los aperos disponibles, es una forma de aumentar el consumo de combustible sin que se incremente la capacidad de trabajo.

Por último, el diseño de los aperos, especialmente en todo lo que se relaciona con los ángulos de ataque de las piezas que inciden en el terreno y los ajustes que permiten una regulación que minimice los rozamientos, ayuda a reducir la demanda de energía y con ello el consumo de gasóleo. De nada sirve un tractor moderno si no se disponen de aperos eficientes. ■

LUIS MÁRQUEZ

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España. Serie: Estudios de Mecanización Agraria de MAPA. Año 2004. ISBN 84-491-0535-4 – Reedición IDAE, Serie: Ahorro y eficiencia energética en la Agricultura. Año 2005.

EL CHISEL ES UNA OPCIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO CUANDO LA PROFUNDIDAD SE MANTENGA EN NIVELES PARA LOS QUE ESTÁN DISEÑADOS LOS BRAZOS

