

Optimización del consumo energético en la agricultura

Luis Márquez

Dr. Ing. Agrónomo

La intensificación de la producción agraria ha podido hacerse gracias a lo que se conoce como *medios de producción*: semillas, abonos, fitosanitarios, equipos mecánicos de todo tipo, que se pueden resumir en un solo concepto: energía de apoyo complementaria del aporte solar. Hay una correlación directa entre la producción final y el consumo energético por unidad de superficie.

La historia de la humanidad ha sido la del dominio de la energía. Al disponer de fuentes de energía diferentes de la muscular se ha podido multiplicar la producción de alimentos que, en el comienzo, dependía, tanto en la producción como en el transporte y en la elaboración, de la energía que proporcionaban los hombres y los animales domesticados.

La estacionalidad de las cosechas, consecuencia de las variaciones climáticas producidas a lo largo del año, reduce notablemente los tiempos de implantación y de recolección de los cultivos, por lo que las superficies que se podían cultivar quedaban limitadas por la disponibilidad de mano de obra en determinadas épocas del año.

Con la ayuda de los animales de tiro y de los aperos de labranza y de recolección, el agricultor europeo multiplica su capacidad de trabajo por 7; posteriormente, con la energía mecánica procedente de los motores de combustión

interna, por más de 70, en relación con la del agricultor que solo disponía de herramientas de mano.

Para comprender la situación actual conviene a veces mirar hacia atrás. El hombre primitivo no disponía de más fuentes de energía que la del Sol, la de sus músculos y, posteriormente, la del fuego de leña. Más tarde cuenta con los animales domésticos y con otras fuentes naturales, como las del agua y del viento para mover los molinos.

Esto hizo que las primeras civilizaciones dependieran fundamentalmente de los esclavos: 300 000 para 34 000 atenienses; 130 millo-

Al disponer de fuentes de energía diferentes de la muscular se ha podido multiplicar la producción de alimentos que, en el comienzo, dependía, tanto en la producción como en el transporte y en la elaboración, de la energía que proporcionaban los hombres y los animales domesticados

nes para 20 millones de ciudadanos romanos. Además, todos los países ribereños del Mediterráneo fueron desboscados para disponer de leña combustible. En la Edad Media, los siervos reemplazaron a los esclavos. No hay que olvidar que la producción de alimentos y el transporte eran la base de la actividad económica de nuestros antepasados.

LA ENERGÍA FÓSIL EN LA AGRICULTURA

La capacidad del hombre para modificar el medio natural depende del volumen y del tipo de energía que puede manejar, pero solamente el 5% de la energía fósil consumida anualmente se utiliza en operaciones agrícolas.

Con la energía mecánica producida por el esfuerzo del hombre, ayudado por los animales de tiro, solo se puede alcanzar un nivel de subsistencia. Contar con recursos energéticos complementarios de los aportados por el Sol, relativamente baratos, incrementa notablemente la renta del agricultor.

Hace menos de 300 años, los combustibles disponibles eran la madera y carbón derivado, la energía del viento o del agua para moler el grano, el aceite para la iluminación nocturna y la fuerza humana y animal para cultivar, transportar, etc.

Hace menos de 200 años, la esperanza de vida en Europa era de solo 38 años. Se necesitaba trabajar 72 horas por semana; las mujeres trabajaban todavía más. Las épocas frías o secas generaban déficits alimentarios y carencias (no había legumbres frescas). En algunas regiones de la Tierra, todavía continúa este modo de vida, incluso dentro de áreas geográficas desarrolladas, especialmente en el medio rural.

Con la Revolución Industrial (y agrícola) la situación empieza a cambiar. Así, la explotación de minas de carbón, el descubrimiento del petróleo, la utilización de la electricidad, la inven-

ción del motor de explosión, etc., proporcionan fuerza motriz utilizando recursos energéticos naturales, generalmente no renovables. La tecnología libera al hombre del trabajo físico; la población en su conjunto vive mejor, y no solo unos privilegiados.

El nivel alcanzado en el consumo de energía para la agricultura permite establecer diferencias entre países ricos y pobres. Los parámetros de referencia son el consumo energético por persona y por unidad de superficie. Pero no siempre el ecosistema es capaz de soportar el impacto ocasionado por la llegada continuada de esta energía externa bajo formas diversas: labores, fertilizantes, riego, etc., y evoluciona hacia un agrosistema más o menos estable dependiendo de la fragilidad del medio considerado.

En general, las técnicas de producción van buscando un equilibrio entre el coste de la tierra (abundancia o escasez) y el de la mano de obra, en comparación con los precios agrícolas.

El consumo de energía fósil en la agricultura tiene poca importancia relativa en el consumo mundial, pero con ella se incrementa notablemente la productividad, y esta energía se utiliza principalmente en la motorización de la agricultura, en la fabricación de los agroquímicos, en el riego mecanizado y en la desecación y otros procesos realizados con las cosechas que hacen posible su conservación. Tampoco hay que olvidar el consumo energético para la climatización de los edificios agrícolas y ganaderos, y para el transporte de las cosechas hasta el consumidor, que aumenta a medida que este se aleja de los lugares de producción.

Gracias a la energía fósil utilizada en la agricultura es posible alimentar a una población en crecimiento exponencial. Así, un cazador-recolector necesitaba para alimentar a su familia una superficie de 200 a 5 000 ha/persona; la agricultura nómada, de la que todavía se alimentan 250 millones de personas, necesita una superficie de 4 ha/persona. Con la agricultura tecnificada se pueden alimentar más de 25 personas/ha.

Se puede poner un ejemplo que permite relacionar el consumo energético con la producción para diferentes niveles de tecnificación en un cultivo como el arroz. Con el nivel de tecnificación que se aplica en agricultura desarrollada se necesita utilizar 65 000 MJ/ha de energía fósil, en la que se incluye el combustible para las operaciones mecanizadas, la que llega en forma de agroquímicos (fertilizantes y fitosanitarios), la necesaria para el secado y la que consumen los equipos de riego. Esto permite alcanzar un producción media de unos 6 000 kg/ha. En el caso de que el riego no sea necesario, la reducción en el consumo de energía puede ser hasta del 40%.

En una región con tecnología intermedia el consumo energético se reduce a la décima parte (unos 6 500 MJ/ha), energía consumida en un 70% en fertilizantes, y el resto, en operaciones mecanizadas, para producir menos de 3 000 kg/ha de arroz. Con el nivel mínimo de tecnificación, solo se utilizan 175 MJ/ha, fundamentalmente como energía de apoyo a la preparación del suelo, y la cosecha de arroz se reduce a poco más de 1 250 kg/ha.

En las diferentes regiones geográficas, en función de las superficies disponibles y de la población que la ocupa y de su nivel de desarrollo, se han establecido modelos de consumo energético que dan preponderancia a la energía necesaria para el funcionamiento de las máquinas, o la energía para la fabricación de fertilizantes y fitosanitarios.

Así, en las regiones de baja población con trabajo caro y escaso, se ha producido un incremento de la energía mecánica, para aumentar productividad de la unidad de trabajo-hombre. Por el contrario, con tierra escasa y costosa, se ha dado preponderancia la utilización de la energía en forma de agroquímicos para aumentar la productividad superficial, aunque esto conlleva mayor riesgo ambiental.

En resumen, el consumo de energía condiciona el desarrollo de un país y su nivel de vida (desarrollo social), ya que permite redu-

cir el tiempo de trabajo y el esfuerzo físico, pero significa un incremento en los costes de producción que solo se compensa con eficacia productiva.

La estrecha relación entre la mecanización y la distribución de los fertilizantes hace aconsejable analizar la optimización de ahorro energético de forma conjunta, ya que no se puede producir un ahorro energético en la fertilización si no se consigue mecánicamente colocar el fertilizante de forma que sea aprovechado por las plantas.

Si bien es cierto que el aumento de la producción agrícola está directamente relacionado con el consumo de energía fósil, el objetivo económico y ambiental que se plantea es el de romper esta relación, optimizando el consumo energético en la agricultura.

En algunos casos, la optimización del consumo energético en la agricultura está relacionada con factores que solo se pueden introducir en el diseño de las instalaciones o en la adquisición de los equipos y, en cierto modo, se independizan de la forma en que actúa el usuario, como pueden ser con las instalaciones agrícolas y ganaderas (edificios, sistemas de riego, etc.), o la infraestructura de transporte local con tractores y remolques. Conviene recordar que aproximadamente el 20% de los tiempos de utilización de los tractores agrícolas en España se dedican a operaciones de transporte.

Si bien es cierto que el aumento de la producción agrícola está directamente relacionado con el consumo de energía fósil, el objetivo económico y ambiental que se plantea es el de romper esta relación, optimizando el consumo energético en la agricultura

En otros casos, son el empresario agrícola y el conductor de tractores y máquinas autopropulsadas los que con su actuación pueden reducir el consumo de energía. Son las que seguidamente se tratan con mayor detalle.

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LAS OPERACIONES DE CAMPO

Las operaciones agrícolas en las que la demanda de combustibles fósiles es más elevada están relacionadas con el trabajo del suelo y la implantación de los cultivos. En un nivel inferior, las de recolección, más importante en lo que se relaciona con el secado de las cosechas.



Con la siembra directa, el consumo de combustible se reduce al mínimo, pero no siempre resulta posible esta opción de forma continuada.

En consecuencia, una reducción del trabajo del suelo, permite optimizar el consumo de combustible. De aquí el interés que toma la "siembra directa" y la "labranza reducida" en la agricultura actual. La siembra directa, que sería la más interesante desde una perspectiva energética, permite reducir en un 75% el consumo de combustible con respecto al laboreo tradicional realizado con arado de vertedera, pero no todos los suelos admiten que se utilice esta técnica de forma continuada. Va a depender de su contenido de arcilla y de materia orgánica, del grado de humedad con el que se trabaja, y de un manejo que evite la compactación de las capas profundas y que mantenga nivelada

la superficie con posterioridad a la recogida del cultivo anterior.

En las situaciones en las que la siembra directa continua no resulta posible, la alternativa para optimizar el consumo de energía es la labranza reducida, que en muchas ocasiones compite en beneficio, aunque el ahorro energético sea algo menor.

RACIONALIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE CULTIVO

Hay que destacar que las operaciones de trabajo profundo del suelo son las que demandan mayor consumo de energía. Así, una arada a 28 cm de profundidad necesita entre 22

y 30 litros de gasóleo por hectárea, según se trate de un suelo ligero o de un suelo fuerte. El consumo por hectárea puede aumentar en un litro por cada centímetro de incremento de la profundidad de trabajo. Se puede reducir la profundidad de intervención tomando en consideración el desarrollo radicular de la especie vegetal considerada. Pero el arado de vertedera no es la única herramienta disponible. Con el empleo del chisel los consumos de combustible por hectárea se pueden disminuir en casi un 50%.

En cualquier caso, la reducción de operaciones innecesarias y de la profundidad de trabajo, y

el empleo de aperos combinados, permiten mejorar la eficiencia energética. Además, un apero bien diseñado y regulado adecuadamente puede reducir el consumo de combustible en más de un 10%.

El laboreo primario con arado de vertedera

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.

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 ±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 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), las potencias necesarias por cada decímetro de anchura de trabajo se representan 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 × 3 = 120 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:

$$2,53 \text{ [kW/dm]} \times 120 \text{ [dm]} = 303,6 \text{ kW}$$

Lógicamente el motor del tractor tiene que suministrar una potencia mayor, ya que hay que contar con las pérdidas en la transmisión, y con las que se producen por rodadura y por deslizamiento. 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 esta. Por último, el motor perderá potencia con el uso, por lo que conviene contar con un margen suficiente.

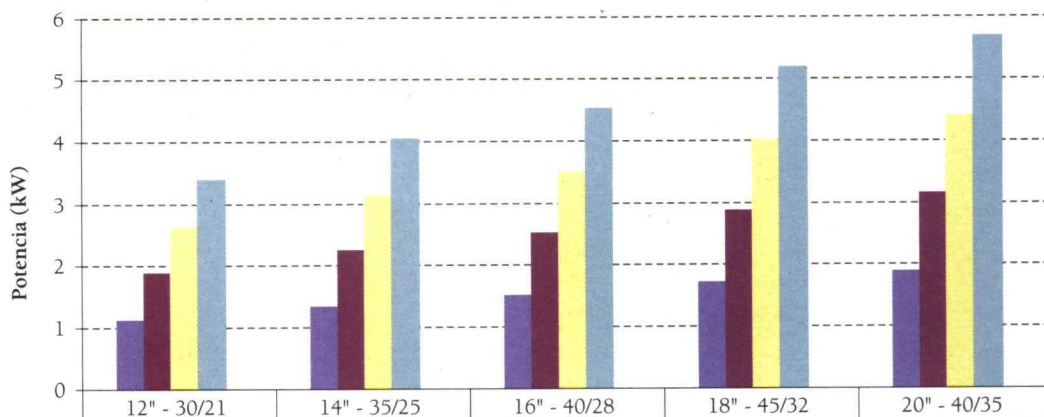


Gráfico 1. Potencia de tracción necesaria por decímetro de anchura de trabajo en distintos tipos de suelo con arados de vertedera.

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.

El consumo de combustible con esta labor se puede 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/h.

El consumo de combustible por hectárea labrada, tomando en consideración que la anchura de este apero es de 1,20 m y que trabaja a 6,5 km/h, con una capacidad efectiva de trabajo de 0,63 ha/h, sería de unos 20 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. 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.

Calculados estos valores, se pueden comparar con los valores medidos en diferentes determinaciones experimentales, como la que resume las medidas de campo efectuadas sobre trac-

tores de agricultores que trabajan en sus parcelas, publicadas por profesores de las Universidades de Castilla-La Mancha (Albacete) y de León, en un estudio financiado por el MAPA.

En el citado estudio, 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 reduzca 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.

Tabla 1. Consumos medidos arando con vertedera

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



Apero combinado para labranza reducida.

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 del área mediterránea.

También el chisel permite un ahorro de combustible, ya que la profundidad de trabajo suele ser menor que con la vertedera, y se produce menor pulverización del suelo. Esto no sucede cuando se confunde lo que debe 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 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 correspondientes el coeficiente de consumo de 0,207 L/h.kW (carga del motor alta), permite deducir los consumos de combustible que se presentan en la tabla 3.

Los valores de consumo obtenidos en las medidas de campo reseñados 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 tra-

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		Tractor recomendado	
	[kW/m]	[kW]	[kW]	[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		Tractor recomendado	
	[kW/m]	[kW]	[kW]	[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			
	ligera/baja	ligera/alta	pesada/baja	pesada/alta
Apero				
Chisel (22 cm)	9	12	15	18

baja con este tipo de apero, como si se tratara de un descompactador.

Cuando se hace al chisel trabajar a mayor profundidad, el ángulo de ataque del brazo en el suelo se pone recto o, incluso, obtuso, con lo cual se producen sobrecargas que aumentan la resistencia al avance, que sólo puede vencer 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.

ADECUAR EL APERO A LA POTENCIA DEL TRACTOR

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

Analizando el caso de un arado de vertedera de 16 pulgadas 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 unas pruebas públicas recientemente realizadas, se puso claramente de manifiesto la importancia de la compatibilidad tractor-apero para reducir el consumo de combustible.

Así, el hecho de incorporar un preparador del suelo a una sembradora permite hacer la preparación del lecho de siembra y la siembra en una sola pasada, con lo que casi se duplica la capacidad de trabajo del tractor y se ahorra más de un 35% de combustible con respecto a lo que serían las operaciones separadas.

Pero lo más significativo de dichas pruebas fue poner de manifiesto que utilizando el mismo tractor con aperos iguales, pero con diferente anchura de trabajo se conseguían ahorros espectaculares. Así con el chisel de 2,60 m de an-



La utilización de aperos combinados permite adaptarlos a la potencia del tractor.

chura, se consumían 13,1 L/h, equivalentes a 10,7 L/ha; con el de 4,50 m, si bien el consumo por hora aumentaba hasta 17,1 L/h, el superficial se reducía a 8,2 L/ha, o sea, un ahorro de gasóleo del 23%.

En consecuencia, el incremento de la potencia de los tractores sin modificar la anchura de trabajo de los aperos disponibles, no es la mejor manera de mejorar la eficiencia energética.

ADAPTACIÓN DE LOS TRACTORES AGRÍCOLAS A LAS OPERACIONES QUE REALIZAN

El tractor agrícola es una unidad energéticamente incompleta, diseñada como polivalente, que se puede adaptar a las distintas operaciones de campo para conseguir optimizar su consumo energético.

Los fabricantes han buscado soluciones para reducir consumo de los motores que se utilizan en los tractores agrícolas, a pesar de que la reducción en las emisiones gaseosas, para

cumplir la legislación medioambiental, tiende a penalizarlos. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (especialmente NOx) en los escapes de los motores utilizados en las operaciones agrícolas, sin que aumente el consumo de combustible hasta el nivel IIIB, se ha tenido que recurrir a la incorporación de la recirculación de los gases de escape (EGR), junto con el turbo de geometría variable en la admisión, presiones de inyección del combustible próximas a los 2000 bar y filtro de partículas en el escape, o bien a la tecnología de reducción catalítica selectiva (SCR) con inyección de una solución de urea sobre los gases de escape. En ambos casos se incrementa el coste de fabricación del tractor sin que aumenten sus prestaciones.

Lo que pueden conseguir los fabricantes mejorando los motores, resulta mínimo con lo que está en las manos del usuario adaptando el tractor al tipo de trabajo que realiza.

Que un tractor sea "ahorrativo" no es una consecuencia exclusiva del diseño de su motor, ni siquiera lo más importante, ya que depende fundamentalmente de la forma en que se uti-

lice ese tractor. Conseguir un 5% de ahorro con nuevos diseños de motores supone invertir en investigación muchos millones de euros, sin embargo, evitar el despilfarro del 25% del combustible realmente consumido en la explotación puede conseguirse con sólo respetar unas reglas sencillas por parte del usuario, que se resumen a continuación.

Buen mantenimiento del tractor

Se debe mantener el motor en buenas condiciones de uso con las revisiones periódicas necesarias, atendiendo en especial al estado del:

- Filtro del aire (grado de limpieza).
- Inyectores y bomba de inyección.

Un motor que emite gran cantidad de humo por el escape indica claramente que quema mal el combustible, que en vez de transformarse en trabajo se desperdicia. Comprobando el estado de los tractores en servicio, se detectan consumos que superan en el 10% la de los mismos equipos cuando fueron presentados al Ensayo Oficial de Homologación.

Correcta utilización del motor

El consumo de un motor varía con su régimen de rotación y con la carga que se le impone. Actuando sobre el acelerador y sobre la caja de cambios se puede conseguir que el motor funcione en el punto de mejor transformación del combustible, que no coincidirá con el de máxima potencia del motor. El usuario atendiendo a las indicaciones de cuentarrevoluciones puede saber si está utilizando correctamente el motor.

Como orientación general y en función del tipo de labor realizada, los mejores resultados se pueden obtener:

a) Para labores pesadas (como labor de alzar)

- Colocar la palanca del acelerador con el embrague pisado para que el motor gire entre el 75% y el 80% del régimen nominal. En los motores de nueva generación este régimen

de funcionamiento recomendado está dentro de la zona de “potencia constante”.

- Buscar entre las distintas velocidades del cambio la que, con el equipo en trabajo y sin tocar el acelerador, produzca una caída de vueltas de unas 200-250 revoluciones por minuto.

Si la caída de vueltas fuese mayor, la marcha elegida sería demasiado larga; si fuese menor, se estaría utilizando una marcha demasiado lenta y que “carga” poco el motor.

b) Para labores de cultivador

- Colocar la palanca del acelerador para que el motor en vacío gire entre el 60% y el 65% del régimen nominal.
- Proceder a seleccionar la velocidad del cambio como se indica en el apartado anterior.

En el caso de que la velocidad de avance venga impuesta por las condiciones agronómicas, se deberá trabajar con aperos de la mayor anchura posible compatible con la potencia del tractor.

Buen rendimiento de las transmisiones

Se deben respetar escrupulosamente las normas del fabricante en cuanto a la viscosidad del aceite lubricante empleado. Un lubricante demasiado viscoso incrementa inútilmente el consumo de combustible por aumento de las resistencias internas.

Las transmisiones con cambios en carga y gestión automática y los cambios sin escalones (CVT/IVT) hacen este ajuste de manera automática, siendo las “estrategias de gestión” las que controlan la eficiencia energética de los tractores más modernos, especialmente en las condiciones de trabajo con suelos de resistencia y pendientes variables de muchas parcelas agrícolas. Permiten optimizar el funcionamiento del régimen del motor con la relación del cambio, especialmente cuando los motores trabajan a media carga, compensando la menor eficiencia de la parte hidrostática de la trans-

misión con el funcionamiento del motor en el punto óptimo de consumo de combustible.

Reducir al mínimo las pérdidas entre ruedas y suelo

En la transmisión rueda-suelo es donde se producen los mayores desperdicios de energía. Las causas de estos desperdicios son:

- *Pérdidas por rodadura*

Debidas a la resistencia que opone el suelo al desplazamiento del tractor y que en cada condición del suelo son mayores cuando se incrementa el peso del tractor.

Trabajar con un tractor grande y un apero pequeño consume inútilmente combustible para asegurar el desplazamiento del conjunto. En los trabajos con la toma de fuerza y en labores ligeras se reducen las pérdidas por rodadura quitando las masas adicionales de lastre que el tractor pueda llevar.

El lastrado es imprescindible cuando se realizan grandes esfuerzos de tracción

En labores que requieren gran esfuerzo de tracción, el aumento de peso es necesario, y el tractor debe lastrarse como se indica a continuación.

- *Pérdidas por deslizamiento (o patinamiento)*

Se manifiesta por una reducción de la velocidad real de avance del tractor, afectando a la superficie que se trabaja en un tiempo determinado. Aumenta considerablemente cuando el esfuerzo de tracción que debe realizar el tractor es grande comparado con el peso de este. A menudo se olvida que pasar de un patinamiento del 10% al 25% significa perder un 17% del trabajo sin que cambie el consumo horario, lo que representa un mayor consumo por hectárea trabajada.

El deslizamiento se puede reducir a niveles aceptables:

- Sustituyendo a tiempo los neumáticos desgastados.



- Lastrando especialmente el tractor para labores que precisan fuerte tracción.
- Utilizando la presión de inflado de los neumáticos recomendada para trabajar en campo.
- Evitando utilizar aperos que necesitan demasiada tracción para el tamaño del tractor disponible.

Los medios propuestos para reducir el patinamiento contribuyen a aumentar las pérdidas por rodadura: el peso que confiere mayor adherencia, obliga al tractor a consumir más para conseguir su propio desplazamiento. Por ello, la solución adaptada debe ser una solución de compromiso que dependa de la naturaleza del trabajo que se debe realizar.

Con la utilización de la suspensión primaria en el eje delantero que incorporan los tractores modernos se reduce el patinamiento cuando estos realizan grandes esfuerzos de tracción, sin que sea necesario incrementar excesivamente el lastrado.

- *Reducción conjunta de pérdidas por rodadura y patinamiento*

La huella de las ruedas motrices del tractor puede ser una indicación de la suficiencia o del exceso de peso del tractor para el esfuerzo que tiene que realizar. Una huella totalmente borrosa es indicadora del alto patinamiento, y es necesario lastrar el tractor si se quiere mantener el esfuerzo de tracción que el apero necesita.

En función de la naturaleza del trabajo se recomiendan las siguientes formas de actuación:

- Trabajo importante de tracción: predominarán las pérdidas por deslizamiento por lo que es preferible:
 - Utilizar tractores pesados para su potencia (50 a 60 kg/CV o más).
 - Lastras con masas adicionales o agua en las ruedas.

- Trabajo ligero de tracción: predominarán las pérdidas por rodadura por lo que se recomienda:

- Utilizar tractores ligeros para su potencia (30 a 35 kg/CV).
- Suprimir cualquier lastre adicional.

La mayor economía de combustible en lo que respecta al rendimiento entre rueda y suelo se consigue utilizando tractores adaptados a las diferentes labores agrícolas. En el caso de explotaciones de tractor único se recomienda:

- Utilizar tractores medianos, ni demasiado pesados ni demasiado ligeros para su potencia.
- Buscar una buena adaptación del apero a la potencia del tractor.
- Reemplazar en las operaciones de campo los neumáticos desgastados.
- Modificar con buen criterio el lastre recurriendo a las masas adicionales.
- Ajustar la presión de inflado de los neumáticos a la naturaleza del trabajo que se debe realizar.

En el uso habitual que del tractor hacen los agricultores las pérdidas por rodadura y deslizamiento son casi un 10% mayor de las que con cuidado podrían conseguir, y el consumo de combustible aumenta en la misma proporción.

Buen rendimiento del apero o máquina que se acciona

Trabajando con un arado, cuando las rejas o el formón pierden el filo, o cuando está mal regulado, el esfuerzo necesario para arrastrarlo aumenta de forma considerable. Si las condiciones de adherencia del tractor están en el límite de lo admisible, el esfuerzo suplementario debido al mal corte del arado, penaliza doblemente el rendimiento del conjunto apero-tractor: el

exceso de esfuerzo de tracción exige mayor potencia del motor, a la vez que aumenta el nivel de patinamiento y se incrementa el tiempo necesario para finalizar la labor.

Para máquinas accionadas por la toma de fuerza, el mal aguzado de las cuchillas tiene un efecto análogo e incrementa innecesariamente el consumo del tractor para la misma superficie por trabajar.

Por defecto de regulación o afilado de los aperos, el consumo de combustible aumenta hasta en un 10% de lo que se necesitaría en buenas condiciones de utilización.

REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN LAS OPERACIONES DE RECOLECCIÓN Y POST-RECOLECCIÓN

El mayor consumo de energía en las operaciones de recolección y post-recolección está relacionado con el secado de las cosechas para permitir su conservación.

En el caso de la recolección de los forrajes, la henificación, para la que se dan unas condiciones muy favorables en un gran parte de las regiones de la conocida como la España "seca", permite obtener heno de calidad sin tener que recurrir a la deshidratación, en la que se necesita aporte de calor generado con combustión, aunque siempre se puede recurrir al empleo de combustibles renovables de origen agrícola. En las regiones húmedas el ensilado del forraje es la mejor opción, desde la perspectiva del ahorro de combustible, ya que el clima dificulta el henificado.

La recolección de granos, por las condiciones climáticas en las que se realiza en España, no suele ir acompañada de un proceso de secado, salvo en el caso de cultivos como el maíz. El retraso de la recolección del maíz dejándolo más tiempo la mazorca en la planta, siempre que se encuentre sin ataque de plagas que producen pérdidas de cosecha, permite bajar el conteni-

do de humedad en el grano, lo que reduce el consumo energético en el secado complementario. Otra alternativa es la recogida en forma de mazorcas y su secado natural en "jaulones". En uno y otro caso, hay que considerar los costes financieros que conlleva el retraso en la comercialización del grano.

Para la reducción del consumo de combustible en el secado de los granos, además de la optimización del diseño de los secaderos, con recuperación del calor y la utilización de combustibles renovables de origen agrícola, están las técnicas de secado por refrigeración lenta diferida, utilizando la ventilación con aire seco. Para optimizar el uso de los secaderos en los países grandes productores de granos se utiliza la técnica del embolsado con bolsas de plástico cerradas herméticamente, que permiten aumentar los tiempos de almacenamiento de los granos húmedos sin deterioro, a la vez que se uniforma el contenido de humedad en toda la masa almacenada, lo que mejora la calidad del secado posterior.

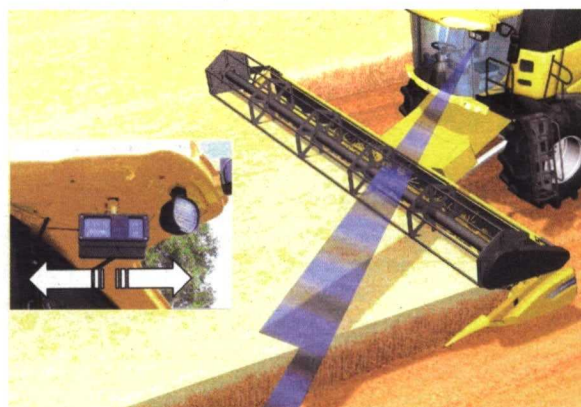
En relación con los equipos de recolección, especialmente los autopropulsados para la recolección de granos y semillas, la mayor dimensión de la máquina permite reducir el consumo de combustible por tonelada de grano cosechada, aunque esta opción no es la más adecuada cuando las máquinas tienen que trabajar en parcelas pequeñas. De aquí el interés de la concentración parcelaria como forma de reducir el consumo de combustible en la agricultura.

EFFECTO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA "AGRICULTURA DE PRECISIÓN" EN LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

La utilización de los sistemas de posicionamiento global con las redes de satélites GPS y Glonass, que ya están disponibles en los tractores y máquinas agrícolas, hace posible el guiado automático, y optimiza los recorridos sobre las parcelas minimizando los solapamientos entre



Guiado semiautomático por barra de luces.



Guiado automático por rayo láser.

pasadas sucesivas. Esto conlleva un aumento de las capacidades de trabajo y una reducción del consumo de combustible. Los resultados obtenidos con el empleo de estos sistemas de guiado permiten deducir que las capacidades de trabajo aumentan entre el 8% y el 15%, lo que reduce el consumo de combustible en la misma proporción.

Por otra parte, a medida que se definen los ambientes en una parcela, se puede realizar

La utilización de los sistemas de posicionamiento global con las redes de satélites GPS y Glonass, que ya están disponibles en los tractores y máquinas agrícolas, hace posible el guiado automático, y optimiza los recorridos sobre las parcelas minimizando los solapamientos entre pasadas sucesivas. Esto conlleva un aumento de las capacidades de trabajo y una reducción del consumo de combustible

la aplicación diferencial de los agroquímicos, con el correspondiente ahorro de producto sin que se produzcan pérdidas de cosecha. En el caso de los fertilizantes nitrogenados, esto permite optimizar las aportaciones, especialmente si se sincronizan las abonadoras con los sensores de vegetación situados sobre los tractores, para una fertilización optimizada en tiempo real.

En los equipos de recolección, la utilización de los sistemas de guiado por red de satélites se completa con los sistemas de visión artificial, que permiten adaptar la máquina a la cosecha para minimizar las pérdidas de producto, a la vez que se mejora la eficiencia sobre la parcela.

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL RIEGO

El riego mecanizado exige la utilización de energía para el bombeo del agua. El consumo va a depender del nivel de bombeo y de la presión de trabajo de aspersores, difusores y goteros.

La utilización del riego por gravedad demanda menor consumo energético, pero no permite el mejor aprovechamiento del agua, que se considera en los medios áridos un factor caro y escaso, al igual que la energía fósil.



Fertilización nitrogenada diferencial mediante detección del nivel de vegetación.

Para conseguir ahorrar energía en el riego resulta esencial el diseño de las instalaciones, evitando el sobredimensionamiento de los bombeos, para lo que se recomienda la utilización de la telegestión de los regadíos y variadores de frecuencia que permitan lograr caudales y presiones acordes con las necesidades reales. También es esencial que los motores y las bombas seleccionados sean de alto rendimiento en el rango caudal-presión con el que se trabaja.

Por parte del usuario, la formación para manejar los equipos de riego y realizar su correcto mantenimiento es esencial, ya que una pérdida de rendimiento en la instalación eleva considerablemente el consumo energético.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS INSTALACIONES

El buen diseño de las instalaciones agrícolas y ganaderas permite optimizar el consumo de energía que se necesita para su ventilación y para su calefacción y refrigeración.

En primer lugar hay que considerar el aislamiento, especialmente en el techo, que debe ser el adecuado para las diferentes especies ganaderas y para sus distintas fases de crecimiento. Un buen aislamiento permite reducir la energía que precisan los equipos de climatización. En cuanto a la climatización de edificios ganaderos

Para conseguir ahorrar energía en el riego resulta esencial el diseño de las instalaciones, evitando el sobredimensionamiento de los bombeos, para lo que se recomienda la utilización de la telegestión de los regadíos y variadores de frecuencia que permitan lograr caudales y presiones acordes con las necesidades reales

conviene utilizar sistemas automáticos de regulación, si esto resulta posible. Las entradas parásitas de aire hacen que aumente el consumo de energía para calefacción.

Para reducir las necesidades de energía en la iluminación se recomiendan las pinturas blancas y los tonos claros, así como utilizar proyectores de bajo consumo y realizar una limpieza periódica de lámparas y luminarias.

Mención aparte puede hacerse de los invernaderos, especialmente de los que se utilizan en las regiones más frías, que deben ser diseñados para aprovechar al máximo la energía del sol, así como optimizar la ventilación y el ensombreamiento a fin de conseguir las condiciones ambientales más favorables para el desarrollo de los cultivos en los periodos cálidos.

A MODO DE CONCLUSIÓN

Hay una relación directa entre la producción agrícola y el consumo energético en la agricultura. Para optimizar el consumo de energía se necesita romper esta relación mejorando el conocimiento agronómico y la tecnología aplicada a la agricultura y definiendo con precisión las buenas prácticas agrícolas que hacen posible la agricultura sostenible.

Cabe distinguir, para optimizar el consumo energético en la agricultura, las técnicas que se utilizan en el diseño y construcción de equipos e instalaciones para usos agrícolas y ganaderos, incluido el riego, de aquellas que se recomiendan en los códigos de buenas prácticas agrícolas y que pueden aplicar los usuarios.

A estas últimas se ha dedicado de forma especial este artículo, destacando aquellas que son de mayor importancia y con las que se puede conseguir ahorro de combustibles fósiles sin reducción de la producción.

Los cambios en la tecnología para la implantación de los cultivos, especialmente en lo que se relaciona con el trabajo del suelo, que mini-

miza las intervenciones hasta llegar a la siembra directa si los suelos lo permiten, lo que influye directamente en la reducción de la erosión, hacen posible minimizar el consumo de combustible.

Por otra parte, las reglas prácticas para ahorrar gasóleo con el manejo racional de los tractores, unidas a la mejor integración del tractor con el apero, permiten reducir considerablemente el consumo energético, y esto lo puede hacer el propio agricultor. Con los sistemas de gestión de motor y transmisión que ofrecen los tractores de diseño más reciente, especialmente en las altas potencias, esta optimización del consumo en las operaciones agrícolas se consigue de forma automática.

La tecnología dirigida a poner en práctica la conocida como Agricultura de Precisión, con los sistemas de guiado automático y la fertilización diferencial, ofrece nuevas perspectivas para romper el enlace entre la producción y el consumo de energía fósil, en una agricultura sostenible con capacidad para aumentar la producción de alimentos que necesita una población en crecimiento exponencial. ❀

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Ahorro y eficiencia energética en la agricultura de regadío.* Serie: Ahorro y eficiencia energética en la agricultura. IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Año 2005.
- Ahorro y eficiencia energética en las instalaciones ganaderas.* Serie: Ahorro y eficiencia energética en la agricultura. IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Año 2005.
- Bustos, Ángel; Fillat Morata, Alba; Gràcia, Felipe; Márquez, Luis.** “Resultados obtenidos en la demostración sobre ahorro energético celebrada en Mollerussa”. *AgroTécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología*, 2006, 5: 46-50.
- Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España.* Serie: Estudios de Mecanización Agraria de MAPA. Año 2004. Reedición IDAE, Serie: Ahorro y eficiencia energética en la Agricultura. Año 2005.
- Márquez, Luis:** “Ahorrar combustible (I): Empezando por los motores”. *AgroTécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología*, 2005, 1: 45-51.
- Márquez, Luis:** “Ahorrar combustible (II): Lo que ofrece la transmisión y la forma en la que se utiliza”. *AgroTécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología*, 2005, 2: 43-46.
- Márquez, Luis:** “Ahorrar combustible (III): Reglas prácticas para ahorrar gasóleo”. *AgroTécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología*, 2005, 3: 41-44.