



El consumo de energía en las labores agrícolas: un aspecto que merece ser estudiado a fondo

1. INTRODUCCION

Tradicionalmente, un aspecto muy poco analizado en la mecanización agraria ha venido siendo el del consumo energético que representa. Diversos factores, como el del ahorro de esfuerzo humano que aporta, el precio bajo de los combustibles hasta 1973 y la escasa consideración que merecían hasta ese momento la posible escasez futura de los carburantes empleados han hecho que este tema haya sido generalmente poco considerado por los investigadores. La crisis energética desatada en la última década ha conseguido traer este tema a un primer plano de interés, realizándose diversos estudios con el fin de disminuir este consumo en la agricultura. Sin embargo, se sigue careciendo de una información clara y fiable de cuál es el consumo de energía que requiere cada una de las operaciones agrícolas mecanizadas. Los diferentes enfoques escogidos para su cálculo, la diversidad de condiciones en que se han realizado y, en algunos casos, incluso la confusión en que vienen expresados hacen que no se pueda por menos que desconfiar de la información que se puede obtener.

2. OBJETIVOS

Existen ya en marcha determinadas investigaciones que, sin referirse directamente a este tema, requieren emplear, para obtener conclusiones fiables, datos de consumo energético en la mecanización. El ejemplo más evidente son los trabajos que se vienen llevando a cabo sobre la posible introducción de cultivos agroenergéticos. Para calcular la eficiencia de un cultivo de este tipo debe cono-

cerse lo más exactamente posible la inversión total en energía que se requiere para su producción. Uno de los sumandos que intervienen es obviamente el de la energía consumida en la mecanización de las operaciones de cultivo y recolección.

La urgencia en la disponibilidad de estos datos con una mínima fiabilidad exigible hace que un primer estudio de interés sea el de realizar una completa revisión bibliográfica de las publicaciones disponibles. De todas ellas, se han seleccionado por lo adecuado de sus conclusiones, las siguientes fuentes o referencias:

- a) ASAE Yearbook 1983.
- b) J. Ortiz-Cañavate y cols. «Las máquinas agrícolas y su aplicación». 1979. Ed. Mundi-Prensa.
- c) D. P. Shelton, et al. «Nebraska On-farm fuel use survey». Transactions of the ASAE 23 (5): 1089-1092. 1980.
- d) M.º de Agricultura: El cálculo del trabajo invertido en las labores agrícolas. 1969.

A partir de ellas, se ha tratado de cuantificar para las operaciones más usuales en el cultivo de una especie agroenergética como la papa (*Helianthus tuberosum*), los consumos de energía requeridos. Se exponen con detalle los cálculos necesarios para llegar a los resultados que se discuten, en las primeras máquinas estudiadas (3.1).

3. CALCULO DEL CONSUMO DE ENERGIA SEGUN LAS DIFERENTES FUENTES

3.1. Preparación del terreno.

3.1.1. Labores de arada primaria.

3.1.1.1. Pase de arado chisel.

Una de las posibilidades factibles para

realizar la labor primaria es la utilización de un arado chisel, ya que pueden usarse terrenos de insuficiente profundidad para la utilización de un arado de vertedera dada su condición de marginales y con menor consumo energético previsto.

En este caso tenemos según las diferentes fuentes:

— Referencia a)

Se dispone de la expresión siguiente para suelos medios:

$D_1 = 480 + 48,1 S$ donde
 D_1 = tracción necesaria (N/brazo) a una profundidad de 3 pulgadas (8,26 cm).
 S = velocidad de avance del tractor para un intervalo de 5 a 7 km/h.

Para extrapolar la expresión a otras profundidades, se emplea la expresión:

$Dd = D_1 (d/8,26)^2$ donde d : profundidad (cm) de la labor.
 Dd = fuerza de tracción (N/brazo)

Tomando una profundidad comúnmente empleada de 20 cm.

$D_1 = 480 + 48,1 \cdot 5(-7) = 720 - 817$ (N/brazo)
 $Dd = 720 (-817) (20/8,26)^2 = 4221 - 4790$ (N/brazo)

En un arado chisel, cada brazo actúa sobre una anchura de unos 0,3 m. Por lo tanto, la fuerza de tracción por cada m de anchura labrada será:

$$D = \frac{4221 (-4790) \text{ (N/brazo)}}{0,3 \text{ m/brazo}} = 14070 - 15967 \text{ N/m}$$

Dado que nos interesará expresar la energía consumida en kWh/Ha, deberá tenerse en cuenta:

$$1 \text{ N/m} = 1 \text{ J/m}^2 = 1 \text{ w} \cdot \text{s/m}^2 =$$

$$= \frac{10^{-3} \text{ kW} \cdot 1/3600 \text{ h}}{10^{-4} \text{ ha}} = 0,0028 \text{ kWh/ha}$$

Por lo tanto: $D = 14070 - 15967$
 $\text{N/m} = 39,4 - 44,7 \text{ kWh/Ha}$

Hasta este momento no se ha tenido en cuenta el aumento de consumo debido al rendimiento de campo. Considerando un rendimiento de campo del 80%, la energía consumida en la labor será:

$$D_2 = D/0,8 = 49,25 - 55,87 \text{ kWh/Ha}$$

Este cálculo incluye en la expresión inicial la resistencia a la rodadura y por lo tanto no es necesario incluir el rendimiento a la barra. En cambio, el consumo definitivo vendrá afectado por el rendimiento térmico del motor. Tomando un valor medio del 25-30%, la energía total consumida será:

$$D_t = D_2/0,3 = 164,2 - 186,2 \text{ kWh/Ha}$$

El valor medio será:

$$D_t = 175,2 \text{ kWh/Ha} (=631 \text{ MJ})^*$$

* 1 kWh = 3,6 MJ, como unidad energética más racional.

— Referencia b)

El dato de partida en este caso es el de que un arado chisel requiere una fuerza de tracción de 115-230 N/m de ancho de trabajo, para cada cm de profundidad de la labor.

Por lo tanto, para una profundidad de 20 cm, la energía necesaria será de 2300-4600 N/m.

En este caso, el valor dado no incluye el gasto debido a la rodadura y por lo tanto habrá que tener en cuenta el rendimiento a la barra. Suponiendo para condiciones normales de un 55%, la energía consumida será de 4180-8360 N/m.

Siguiendo el mismo proceso anterior para considerar el rendimiento de campo (80%) y el rendimiento térmico del motor (30%) y expresando la energía obtenida en kWh/Ha, la energía consumida será:

$$D_t = \frac{4180 (-8360) \cdot 0,0028}{0,8 \cdot 0,3} =$$

$$= 48,79 - 97,58 \text{ kWh/ha}$$

El valor medio es de unos 73 kWh/ha.

— Referencia c)

Esta fuente nos proporciona el dato del consumo de carburante en una labor de chisel = 8,6 - 9,9 l gasoil/l.

Por lo tanto, sólo restará expresar este consumo en kWh/Ha. Para ello sólo habrá que tener en cuenta el poder energético del gasoil: 39 MJ/l:

$$D_t = 8,6 (-9,9) \text{ l/Ha} \cdot 39 \text{ MJ/l} =$$

$$0,2778 \text{ kWh/MJ} = 93,2 - 107,3 \text{ kWh/Ha}$$

El valor medio es de 100,2 kWh/Ha.

— Referencia c)

No proporciona datos sobre este tipo de labor.

3.1.1.2. Pase de arado de vertedera

— Referencia a)

En este caso se propone la expresión, para terrenos arenosos:

$$D (\text{N/cm}^2) = 2,8 + 0,013 S^2$$

donde S = velocidad (5-9 km/h)

Por lo tanto

$$D = (3,125 - 3,43) \text{ N/cm}^2 =$$

$$31250 - 34300 \text{ N/m}^2$$

Tomando una profundidad de labor típica con este apero de 30 cm

$$D_1 = 31250 (-34300) \text{ N/m}^2 \cdot$$

$$0,3 \text{ m} = 9375 - 10290 \text{ N/m}$$

Si tras tener en cuenta el rendimiento a la barra (60%), el rendimiento de trabajo efectivo (80%) y el rendimiento térmico del motor (30%), expresamos este valor en kWh/Ha, obtenemos:

$$D = \frac{9375 (-10290) \cdot 0,0028}{0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,3} =$$

$$= 182,3 - 200,1 \text{ kWh/ha}$$

El valor medio es 191,2 kWh/Ha.

— Referencia b)

Propone una resistencia específica a la tracción de 30-50 kPa, valores más amplios que los de la fuente anterior y aplicables para cualquier textura usual en España.

Tomando también una profundidad de 30 cm:

$$D = 30 (-50) \text{ kPa} \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \cdot \text{kPa} \cdot$$

$$0,3 \text{ m} = 9000 - 15.000 \text{ N/m}$$

Aplicando la misma conversión y los mismos rendimientos que en el caso anterior:

$$D = 175 - 292 \text{ kWh/Ha, con valor medio de}$$

$$233,5 \text{ kWh/Ha}$$

— Referencia c)

Propone el consumo de 16,85 a 18,10 l/Ha. Esto supone un consumo energético de

$$D = (16,85 - 18,10) \text{ l/Ha} \cdot 39 \text{ MJ/l} =$$

$$0,2778 \text{ kWh/MJ} = 182,6 - 196,1 \text{ kWh/Ha}$$

El valor medio es 189,3 kWh/Ha.

— Referencia d)

Propone un consumo de 30 l/Ha para arado trisurco a la profundidad elegida (30 cm). Es decir un consumo superior en un 90% a la fuente anterior. Expresándolo en las unidades elegidas:

$$D = 325 \text{ kWh/Ha}$$

3.1.2. Labores de arada secundaria. Pase de grada

Al ser el más común de los aperos utilizados para esta labor la grada de discos, se va a analizar únicamente este caso:

— Referencia a)

La expresión utilizada es:

$$F = 11,7 (\text{N/kg}) \cdot M (\text{kg})$$

donde
 F = fuerza de tracción
 M = peso de cada disco

Tomando una separación entre discos de 0,2 m y peso por disco de 50-100 kg, obtenemos:

$$D = \frac{11,7 \cdot 50 (-100)}{0,2} = 2925 - 5850 \text{ N/m}$$

Considerando un rendimiento a la barra del 50%, un rendimiento de trabajo efectivo del 80% y el rendimiento térmico del motor (30%).

$$D = \frac{2925 - 5850 \text{ N/m} \cdot 0,0028}{0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,3} =$$

$$= 68,25 - 136,5 \text{ kWh/ha}$$

Valor medio: 102,37 kWh/ha

— Referencia b)

Propone directamente un valor de 1300-2600 N/m. Aplicando los mismos rendimientos.

$$D = 30,33 - 60,66 \text{ kWh/Ha}$$

Valor medio: 45,50 kWh/Ha

— Referencia c)

Propone 7,2 a 7,5 l/Ha. Por ello:

$$D = 78 \text{ a } 81,25 \text{ kWh/Ha.}$$

Valor medio: 79,6 kWh/Ha.

— Referencia d)

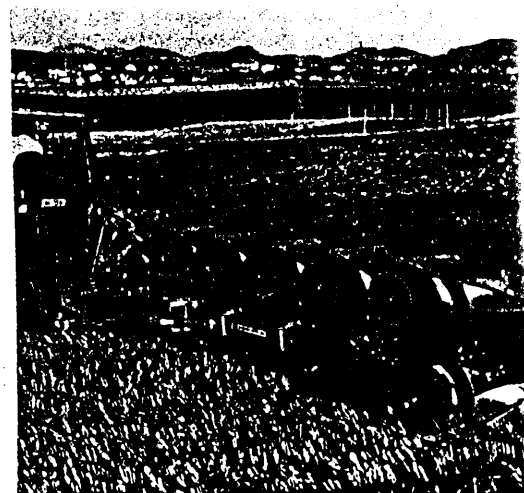
Propone un consumo de 14 l/Ha

$$D = 151,68 \text{ kWh/Ha.}$$

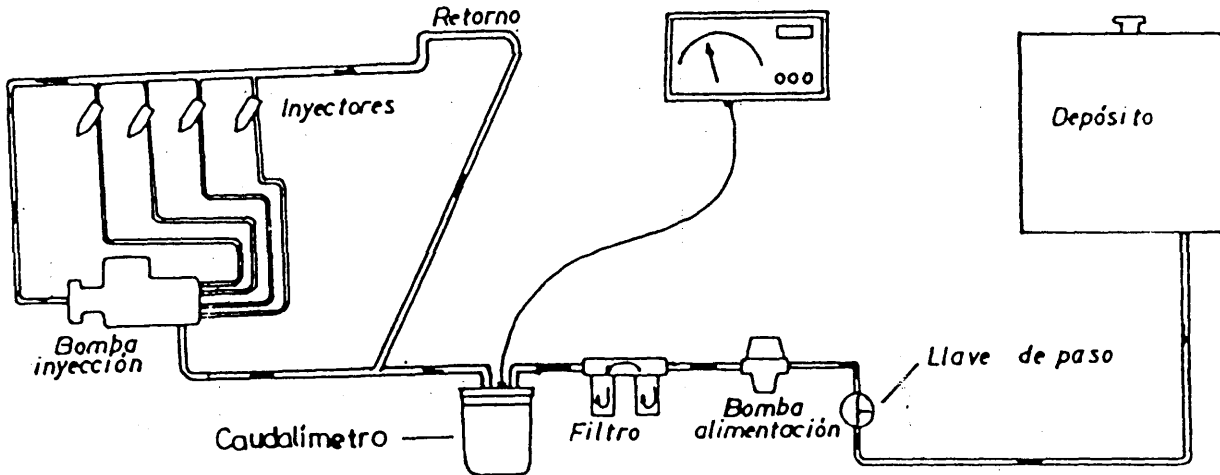
3.2. Labor de siembra

— Referencias a y b:

Indican un valor de 1100-2000 N/fila para siembra en caballones, e incluyendo la preparación de éstos. Considerando un rendimiento de campo del 70%, un rendi-



El consumo de combustible puede determinarse por medio de caudalímetros especiales intercalados en el circuito de gasóleo del tractor. Es necesario tomar numerosos datos y controlar al máximo las condiciones: velocidad, profundidad, anchura, resbalamiento y calidad de la labor, así como las condiciones y manejo del motor del tractor.



miento a la barra del 50% y un rendimiento térmico del motor de 30%; para filas de 0,8 m de ancho:

$$D = \frac{1100 (-2000) \cdot 0,0028}{0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,8} = 36,66 - 66,66 \text{ kWh/ha}$$

Valor medio: 51,66 kWh/ha.

— Referencia c)

Apartado de otras operaciones, la siembra exige según esta fuente 4,1-4,67 l/ha de gasóleo.

$D = 4,1-4,67 \text{ l/ha} = 44,4-50,6 \text{ kWh/ha}$.

Valor medio: 47,50 kWh/ha.

— Referencia d)

No incluye datos para siembras en caballos.

3.3. Pase de cultivador

— Referencia a)

Propone como expresión:

$D_1 = 480 + 4,81 \cdot S \text{ N/brazo}$ a 7,6 cm de profundidad, para valores de $S = 5-7 \text{ km/h}$ y 0,3 m de separación entre brazos.

Para otras profundidades $d \neq 7,6$
 $D = D_1 \cdot (d/7,6)^2$

Tomando una profundidad de 10 cm:

$D_1 = 720,5 - 816,7 \text{ N/brazo}$
 $D = 1056 - 1197 \text{ N/brazo}$
 $D = 3520 - 3990 \text{ N/m}$.

Considerando los rendimientos de trabajo (80%) y térmico del motor (30%) (ya que la expresión inicial incluye el esfuerzo a la barra):

$$D = \frac{3520 (-3990) \text{ N/m} \cdot 0,0028}{0,8 \cdot 0,3} = 41,0 - 46,55 \text{ kWh/ha}$$

Valor medio: 43,77 kWh/ha.

— Referencia b)

Supone un esfuerzo de 585-1200 N/m. Procediendo de modo similar a anteriores casos, esta tracción supone un consumo energético de:

$D = 10,29 - 25,45 \text{ kWh/ha}$

Valor medio: 17,9 kWh/ha.

— Referencia c)

Recoge un valor de 4,2-4,4 l/ha. Por lo tanto, un consumo energético de 45,5-47,7 kWh/ha, con un valor medio de 46,60 kWh/ha.

— Referencia d)

Para una profundidad de 12 cm y con 11 brazos (2,26 m de anchura, recoge un consumo de 9 l/ha y por lo tanto 97,5 kWh/ha).

3.4. Recolección

Dada la diversidad con que este trabajo puede realizarse (desde cosecha manual hasta mecanizada integral selectiva), sería muy difícil conseguir datos suficientemente contrastados.

4. Discusión y conclusiones

Si se analizan los resultados recogidos en la Tabla 1, que sólo agrupa a una serie de labores representativas, de las cuales se pueden recoger datos en diversas fuentes, salta a la vista la diversidad de valores, pudiéndose observar diferencias superiores al 100%. Por otra parte, cabe justificar esta diversidad por las condiciones en las que los datos se han recogido pero ello no obsta para poder concluir que el profesional que desea conocer un dato de este género debe saber que la fiabilidad de cualquiera de ellos es baja, pues difícilmente ninguno proviene de una situación similar a la que se desea aplicar.

Más importante aún es señalar que la información disponible sobre un parámetro tan importante en estos momentos como el del consumo energético en la mecanización agraria es obviamente insu-

ficiente. Hay que recordar que, en el campo de la automoción, este parámetro ha venido a ser uno de los más interesantes para el futuro comprador, y la competencia entre las diversas marcas es muy fuerte. Por razones que no se aciertan a comprender, dada la preocupación de los agricultores por ahorrar insumos, en la mecanización agraria este dato sigue completamente olvidado. Su conocimiento, que resulta evidentemente complejo de obtener, no puede retrasarse más. La dificultad de sistematizar los resultados que se vayan obteniendo no debe impedir por más tiempo que se emprendan amplios estudios para que esta información sea conocida con suficiente garantía por fabricantes, profesionales y agricultores.

Tabla 1

Consumo de energía según las diferentes fuentes (kWh/ha)

	Referencias			
	a	b	c	d
Arado chisel	175,20	73,00	100,20	—
Arado vertedera	191,20	233,50	189,30	325,00
Grada de discos	102,37	45,40	79,60	151,68
Siembra en caballos	51,66	51,66	47,50	—
Pase de cultivador	43,77	17,90	46,60	97,50

Los resultados de un reciente estudio comparativo sobre consumos de combustibles en la siembra directa en relación a las labores tradicionales (Juste y otros, 13 Conf. Int. de Mecanización Agraria, 1981) suponen un total de 270 kWh/ha en la labor de vertedera, 140 en la de gradeo, 43 en el abonado y 70 en la siembra convencional para la zona de secano castellano. La siembra directa consume solamente 65 kWh/ha, a los que se añaden unos 54 de pulverizaciones herbicidas.

L. Val. Dr. Ing. Agrónomo.
 E.T.S.I.A. de Valencia
 M. Ruiz. Dr. Ing. Agrónomo.
 E.T.S.I.A. de Madrid
 B. Nieto. Ing. Agrónomo.
 E.T.S.I.A. de Madrid