

JOÃO M. SERRANO; JOSÉ O. PEÇA
Dpto. de Ingeniería Rural de la Univ. de Évora

MÁRIO NUNES; LUÍS RIBEIRO
Ins. Nac. de Ing. y Tec. Industrial (Portugal)

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA TRACTOR/GRADA DE DISCOS EN LA PREPARACIÓN DE LOS SUELOS

Con las nuevas técnicas de medida y los sensores que incluyen los tractores agrícolas modernos resulta posible la toma de datos en tiempo real en condiciones de campo, sin interferir en el trabajo del tractorista.

En este artículo se presenta la experiencia de un equipo del Dpto. de Ingeniería Rural de la Universidad de Evora, en colaboración con el Dpto. de medidas eléctricas del INETI de Portugal, que ha desarrollado, a partir del monitor *Datatronic*, con el que equipa Massey Ferguson a sus tractores, un sistema de instrumentación complementario para el registro de los datos que habitualmente están a la vista del tractorista en el monitor del tractor, pero que son volátiles. Este equipo se utiliza para establecer las demandas de potencias de las gradas de disco de tiro ex-

céntrico que se utilizan en la preparación del suelo en los secanos del Alto Alentejo, con el empleo de los tractores y aperos de que ya disponen los propios agricultores; el trabajo se completa proponiendo un modelo que sirva como referencia para validar el grado de optimización de los equipos que el agricultor utiliza.

Estructura del sistema de adquisición de datos

La estructura de un sistema de adquisición de datos incluye, además de los sensores, una unidad del tratamiento y acondi-

cionamiento de la señal, que convierte las señales analógicas que proceden de los sensores en señales digitales, unida por un interfaz (placa de adquisición de datos) a un sistema tratamiento y almacenamiento de la información (ordenador).

Tecnológicamente, a pesar de que este principio es de aplicación general, puede hacerse de formas diferentes. Los sistemas más comunes son conjuntos que se montan directamente sobre el tractor, lo que tiene inconvenientes, debidos a la agresividad del entorno en el que deben de trabajar el equipo, y a la incomodidad para el operador que debe de



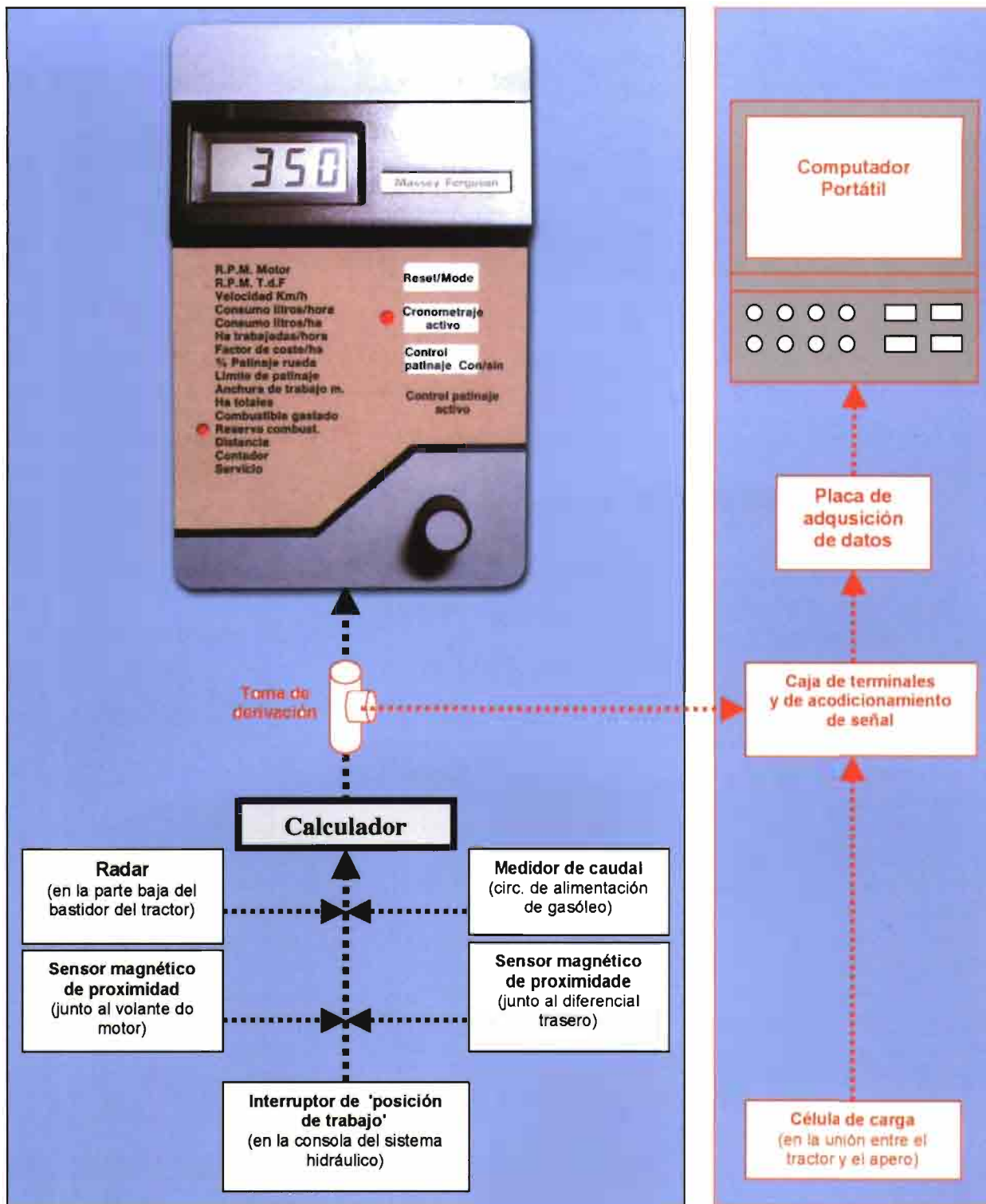


FIGURA 1.- Diagrama ilustrativo del sistema de adquisición de datos instalado en los tractores Massey Ferguson; en rojo los complementos del sistema comercial.

acompañar en la cabina al tractorista. Como alternativa se dan los acumuladores de datos tipo *data-logger* que obligan, si se quiere controlar las anomalías que se pueden producir durante el trabajo en tiempo real, incluir un sistema de comunicación a distancia, costoso de implementar

La solución adoptada por el equipo de mecanización de la Universidad de Évora y del Laboratorio de Medidas Eléctricas de INETI, en un proyecto de la inves-

tigación financiada por el estado portugués (*Contribuição para a optimização do sistema dinâmico tractor-alfaia em mobilização do solo*), consiste en aprovechar la ventaja de un sistema comercial, como el *Datatron*, con el que se equipan el tractores Massey Ferguson de las series 3000 y 3100, adaptando la instrumentación complementaria necesaria para medir otros parámetros y para el registro y almacenamiento de datos que habitualmente son 'voláti-

les', que sirven de información al operador, pero que no quedan registrados. Este modelo exige, como cualquier otro, la calibración de los sensores, y presenta la gran ventaja de aprovecha el potencial existente, constituyéndose como una estructura simple y de coste relativamente bajo.

Está constituido por un grupo de sensores (Figura 1), vinculados a una unidad central de tratamiento de la señal y de cálculo que permite informar al operador



FIGURA 2.- A la izquierda, placa de adquisición de datos; a la derecha, acondicionador de la señal y ordenador portátil.

en los parámetros pertinentes del trabajo del tractor. Los sensores del sistema comercial *Datatronicon* son:

- Un radar Doppler, instalado en la parte baja del tractor.
- Un sensor magnético de proximidad colocado junto al volante del motor.
- Un sensor magnético de proximidad colocado junto al grupo cónico de la transmisión a las ruedas traseras.
- Un medidor de caudal instalado en el sistema de alimentación de combustible.
- Un sensor de posición colocado en los brazos de elevación del sistema hidráulico.

Para superar la limitación del hecho de que la información disponible no queda registrada, se desarrolló un sistema de adquisición de datos que incluyó la instalación de un conector 'en T' en la conexión entre la calculadora y la consola del sistema de información, lo que permite derivar las señales de los sensores hacia otro circuito electrónico constituido por:

- Una caja de terminales (con 8 vías) y acondicionadora de la señal.
- Una placa de adquisición de

datos, como el interfaz para un ordenador portátil (Figura 2).

Además, se instaló una célula de carga, para situarla entre el tractor y el apero (Figura 3).

SE ENSAYARON TRACTORES CON POTENCIA ENTRE 59 Y 134 kW ARRASTRANDO GRADAS CON ANCHURAS ENTRE 2 Y 4 m

Se utiliza un ordenador portátil, con tarjeta de adquisición de datos PCMCIA, que, a partir de la conexión de derivación del Da-

tatronicon y una célula de carga de 50 kN, para colocar entre la lanza del apero y el enganche del tractor, se sitúa sobre el tractor, almacenando los datos en tiempo real, a la vez que se controla cualquier anomalía que se pueda producir. Para el control del proceso de adquisición de datos durante los ensayos del campo se desarrolló una aplicación *Labview* (Figura 4).

La autonomía de SAD en la toma de datos en el campo es de aproximadamente 4 horas, gracias a sus baterías internas. Además, se dispone de un cable de conexión a la batería del tractor para permitir el registro de los datos en ensayos más prolongados.

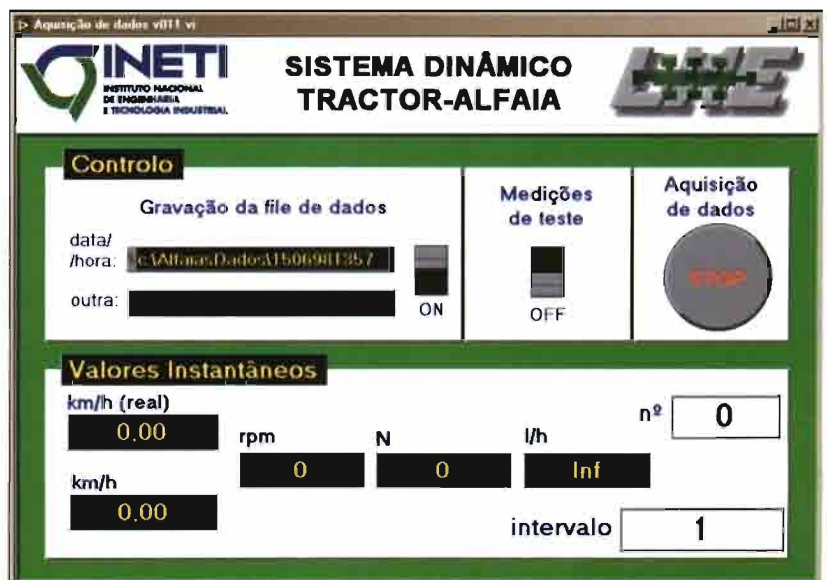
Los ensayos de campo

La instrumentación anteriormente descrita ha permitido la ejecución de ensayos de campo en suelos con texturas y condiciones diferentes (rastraje, gradeado, labrado), así como el empleo de los equipos disponibles en las diferentes explotaciones agrícolas, que incluyeron tractores de 59 kW a 134 kW de potencia en el motor y gradas de discos de tiro excéntrico de 2 a 4 m de anchura de trabajo, con la

FIGURA 3.- Célula de carga instalada entre la 'barra tiro' del tractor y la lanza de la grada arrastrada.



FIGURA 4.- Aplicación Labview para el control del proceso de adquisición, tratamiento y almacenamiento de datos, durante los trayectos de ensayo.



masa de 1 500 a 4 000 kg. Se ensayaron en diferentes situaciones de lastre, de presión de inflado de los neumáticos, de régimen de funcionamiento del motor, de relaciones de transmisión de la caja de velocidades, para diferentes regulaciones de las gradas de discos.

El esfuerzo de tracción que demandan las gradas de discos off-set

Los resultados obtenidos en el conjunto de los ensayos han permitido establecer un modelo de predicción de la tracción en la barra de tiro en función de la masa de la grada de discos que se puede expresar matemáticamente como sigue:

$$\text{Tracción [N]} = 7.3965 \times \text{Masa de la grada [kg]} + 7541.6$$

Los valores obtenidos durante los ensayos, para las condiciones normales de implantación de los cultivos de secano en suelos de textura media, aparecen reflejados en la Figura 6 junto con la ecuación de la recta ajustada de esta ecuación.

En estas condiciones la relación entre la potencia del tractor y la anchura de trabajo de la grada de discos se encuentra entre los 37.5 y 50 CV/m; esto se puede representar gráficamente, relacionado tractores y gradas, como se presenta en la Figura 7.

El establecimiento del modelo para el dimensionamiento del conjunto tractor apero basado en la medida del esfuerzo de tracción necesaria en las condiciones reales de trabajo, permite a los fabricantes establecer una recomendación sobre la potencia aconsejada de manera fiable para todos los modelos que producen, así como al usuario establecer las compatibilidades más adecuadas para sus tractores. El dimensionamiento del conjunto tractor-apero tiene implicaciones importantes en la productividad y en la eficacia del trabajo agrícola.

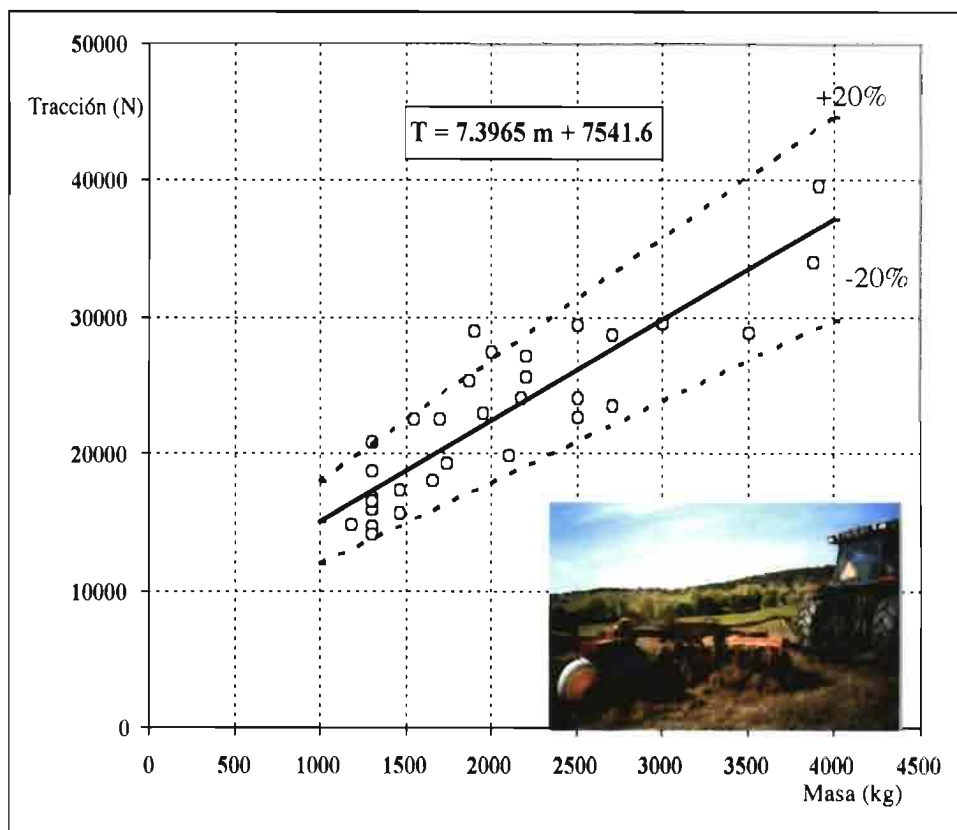


FIGURA 6.- Modelo propuesto de previsión de tracción a la barra con gradas de discos off-set, en función de la masa de la grada.

El comportamiento de los tractores en los ensayos a la toma de fuerza

Como complemento de estas pruebas de tracción, los tractores utilizados en estos ensayos

también se sometieron a ensayos para determinar su potencia utilizando un freno dinámico acoplado a la toma de fuerza. Los resultados obtenidos, en términos de régimen de funcionamiento, par motor y consumo horario, se analizaron

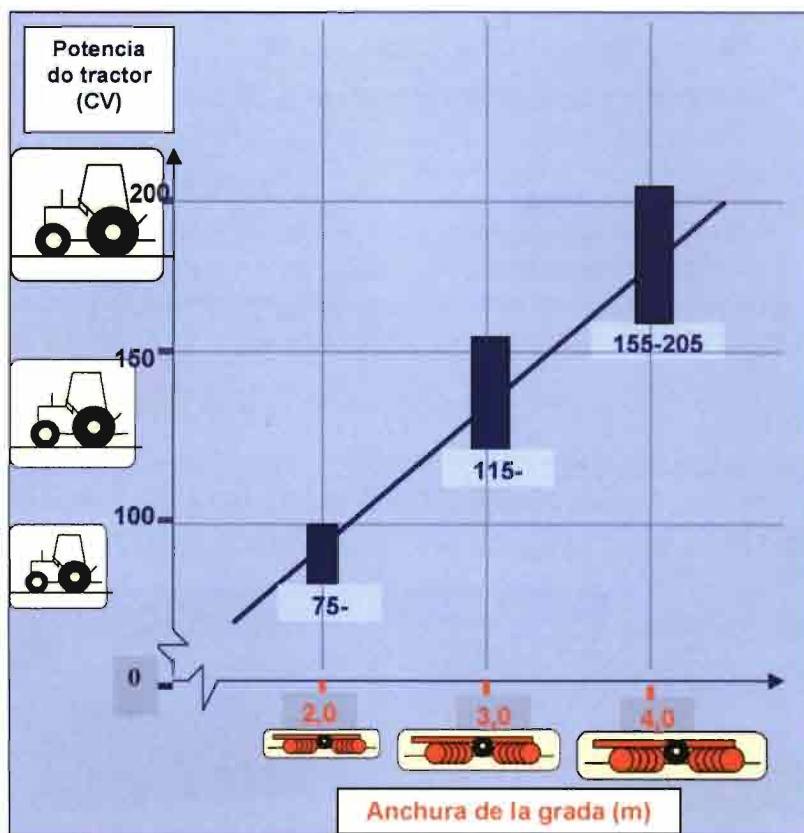


FIGURA 7.- Aplicación del modelo de dimensionamiento del conjunto tractor-grada de discos, en las condiciones normales de implantación en cultivos de secano, para suelos de textura media.

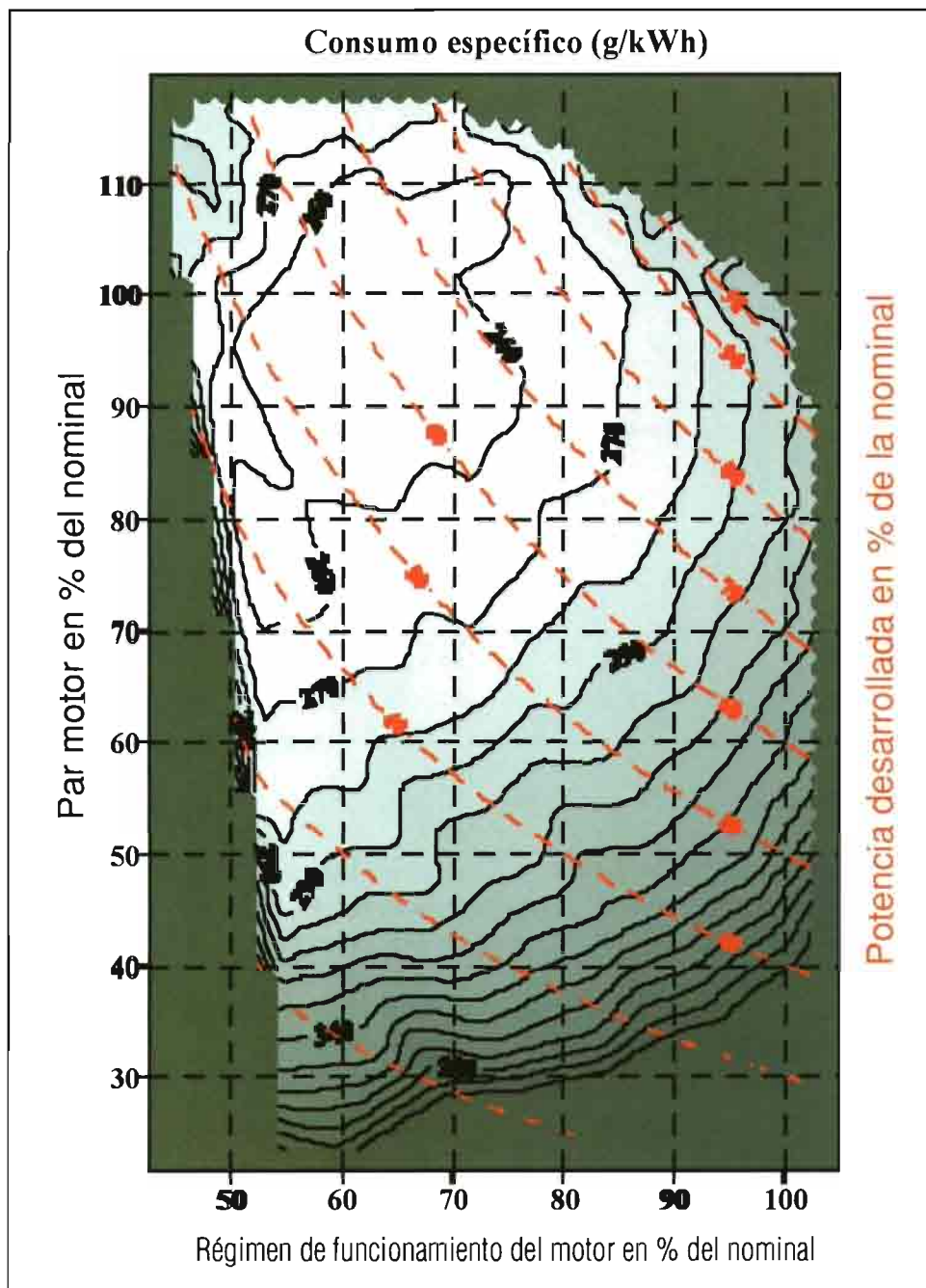


FIGURA 8.-
Curvas de
computamiento
del tractor
Massey
Ferguson 3060
utilizado en los
ensayos.

matemáticamente, mediante el programa *Surfer* que, mediante procesos de la triangulación y de interpolación lineal, permite el establecimiento de las curvas

características de iso-consumo en las condiciones actuales de funcionamiento (Figura 8).

Con esta información es posible evaluar las posibilidades de

utilización de un tractor en las diferentes operaciones agrícolas, buscando la mayor eficacia en la conversión del combustible en la energía mecánica. El menor consumo específico del motor (C_e , expresado en g/kWh), se consigue con altos grados de utilización de la potencia máxima y con regímenes de funcionamiento del motor del orden de los 70% del régimen nominal. Estas condiciones son las que se dan habitualmente en los trabajos de preparación de suelos.

Las pruebas demostraron que el consumo específico es un factor previsible, y relativamente poco variable en ciertas condiciones de trabajo: similar régimen de funcionamiento del motor, con una utilización de la potencia disponible por encima del 60% (valores que quedan reflejados en la Tabla 1) como suele ser habitual en los trabajos del tracción.

Por ello es posible predecir el valor de esta variable, en dos regímenes típicos de utilización, para las operaciones de preparación del suelo:

- Con un régimen de aproximadamente el 80% del régimen nominal, funcionando en condiciones que no exigen toda la potencia del tractor, y en las que se procura optimizar el consumo de combustible sin comprometer la capacidad de trabajo (ha/h), con la obtención de un consumo específico mínimo y relativamente estable (que en el conjunto de los ensayos efectuados fue de 270 g/kWh);
- Con régimen nominal, utilizado en operaciones que demandan mucha potencia, o cuando se pretende optimizar que la capacidad de trabajo, con menor eficacia en términos de consumo de combustible (que en el conjunto de los ensayos efectuados fue aproximadamente de 300 g/kWh).

TABLA 1.
CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE EN DIFERENTES CONDICIONES DE TRABAJO CON TRACTORES MASSEY FERGUSON DE LAS SERIES 3000 OBTENIDOS DURANTE LOS ENSAYOS EN LA TOMA DE FUERZA

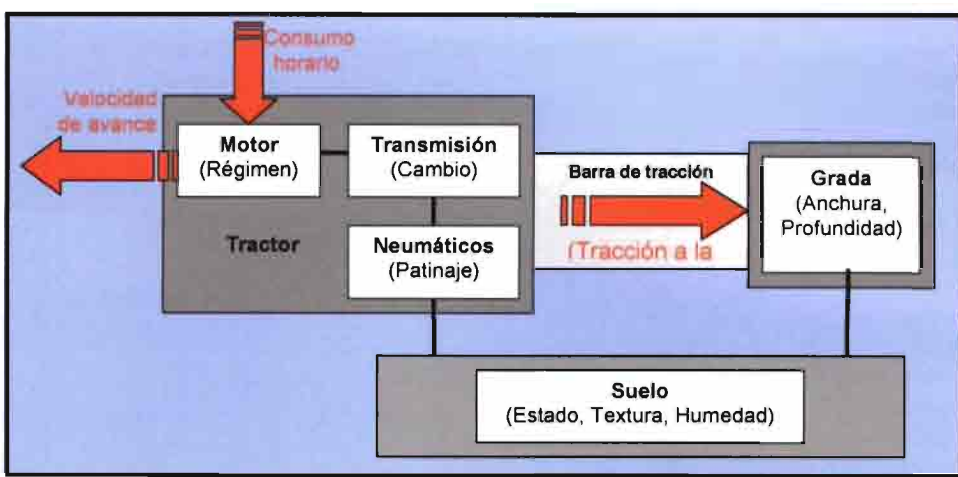
	El grado de utilización de la potencia nominal			
	66%		90%	
El grado de uso del régimen nominal [%]	80	100	80	100
El intervalo de la variación en el grupo del tractores [g/kWh]	260 a 280	300 a 330	260 a 290	280 a 302

El consumo de combustible por hectárea: un indicador de la eficacia de energía global

La preparación del suelo representa, en la utilización del tractor en los sistemas agrícolas tradicionales, una de las actividades con costes energéticos más elevados. La sostenibilidad de estos sistemas exige una gestión rigurosa de los recursos, con la reducción importante de los costes de producción de los cultivos, especialmente de los asociados al consumo de combustible.

EL CORRECTO MANEJO DEL CONJUNTO TRACTOR-GRADA PERMITE MINIMIZAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La eficacia de transformación energética del combustible suministrado al motor del tractor en trabajo útil realizado por las gradas, dependen de un conjunto de factores: del propio motor, de la transmisión a las ruedas, de la interacción de los neumáticos con el suelo y de la interacción de los elementos activos de la grada en el suelo. Cualquiera



de estos factores se encuentran condicionados por la eficiencia del operador.

La medida los parámetros de tracción a la barra (T), de velocidad real de avance (v_r) y de consumo horario de combustible (Ch) en los ensayos del campo con el tractores y gradas de discos, en diferentes condiciones de trabajo (Figura 9), se compararon con la medida del consumo específico de combustible en el motor obtenidas en los ensayos a la toma de fuerza, para diferentes condiciones de trabajo, lo que permitió el cálculo de la eficiencia global en la utilización del combustible.

Fue posible verificar que el correcto manejo del conjunto tractor-grada en el trabajo del suelo permite minimizar el consumo de combustible por hectárea, reduciendo a pequeños diferencias las variaciones que se producen en los principales parámetros que lo determinan, lo que permite establecer una relación, aproximadamente lineal, para la tracción a la barra por metro de anchura de la grada, en ca-

da régimen de funcionamiento del motor y en cada condición de suelo.

Admitiendo, sobre la base de que la intervención se realiza en el momento oportuno, garantizando los correctos ajustes en el régimen de funcionamiento del motor, en la relación del cambio elegida, en la presión de inflado de los neumáticos y en el lastre del tractor, el consumo de combustible por hectárea con un tractor agrícola, en el trabajo de preparación del suelo, está fundamentalmente determinado para el esfuerzo de tracción que demanda la grada.

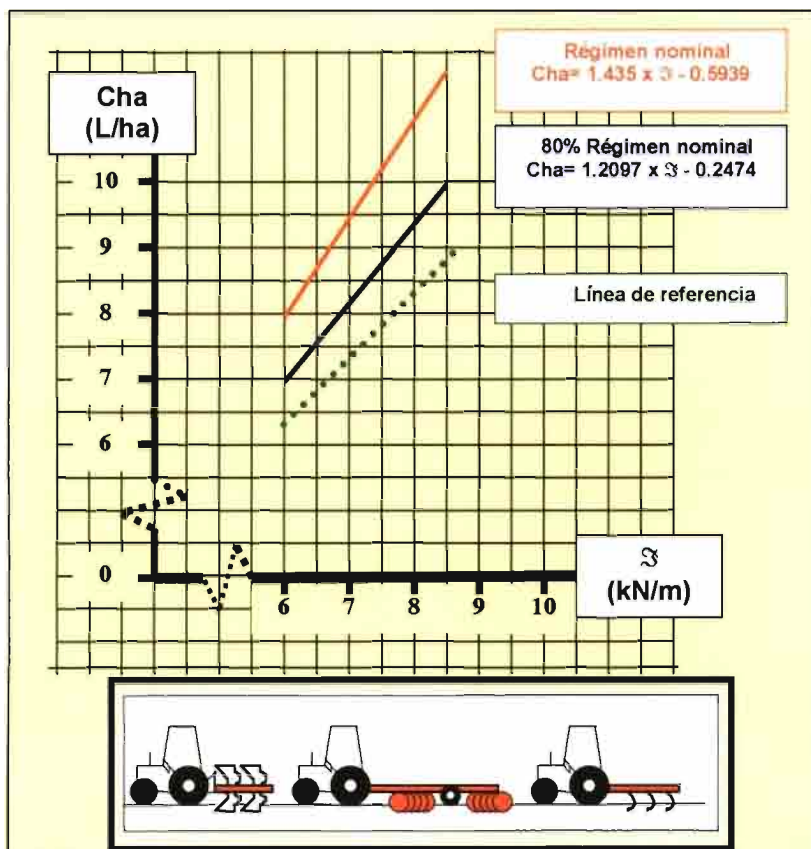
Los datos de referencia que se pueden utilizar para definir la situación óptima son:

- Para los motores, los resultados de los ensayos en centros oficiales, como los que publica la OCDE/DLG para los tractores agrícolas, que permiten deducir que los consumos específicos mínimos son de unos 230 g/kWh.
- Para la eficiencia en tracción, se pueden utilizar las referencias de ASAE, que indica que para un tractor de doble trac-

FIGURA 9.- Variables medidas en los ensayos de campo.



FIGURA 11.- Previsión de consumo de combustible por hectárea a partir de la tracción a la barra por unidad de anchura de trabajo de la grada: encuadramiento en la línea de referencia correspondiente al máximo rendimiento global.



ción en un suelo de rastrojo llegaría a un máximo del 72%.

Conjugando estas informaciones se puede establecer un valor de referencia para el consumo por hectárea trabajando con una grada arrastrada, de manera que mientras más se separen los resultados obtenidos en condi-

ciones reales de esta referencia, más inadecuado será el conjunto tractor-grada, o más incorrectas las regulaciones efectuadas.

Optimizadas las regulaciones con el tractor y la grada se pueden establecer unas ecuaciones de referencia que relacionan el consumo de combustible para la

hectárea (Cha) y la tracción para la unidad de anchura de trabajo (t). Éstas permiten comparar sistemas diferentes de preparación del suelo con exigencias de tracción diversas, que corresponden a costes energéticos diferenciados, traducidos en términos de consumo de combustible por hectárea. Con los sistemas de labranza reducida y con la siembra directa, es lógico que se produzcan reducciones en el consumo de combustible, ya que se reduce la demanda de tracción.

Utilizando un cálculo por regresiones puede ajustarse una línea recta a partir de las diferentes condiciones de uso (preparación de suelo con texturas medias en seco) que se representa gráficamente en la Figura 11, indicando las condiciones para las que se obtuvieron.

Estas líneas marcan unas referencias que permiten deducir el grado de optimización de un conjunto en las diferentes situaciones de campo. ■

Agradecemos al Prof. Luis Márquez su ayuda en la traducción de este artículo.
Los Autores

