

LUIS MÁRQUEZ
Dr. Ing. Agrónomo

AHORRAR COMBUSTIBLE (I)

Empezando por los motores

El incremento de los precios de los carburantes y la polémica sobre la cuantía de las ayudas a los diferentes sectores económicos se mantienen como noticias de actualidad. No despiertan tanto interés los procedimientos que pueden seguirse para ahorrar combustible.

En este artículo y otro que lo complementa se analizan los medios de que disponen los usuarios de los tractores agrícolas. Para hacerlo, en primer lugar se presentan los procedimientos que sirven para comparar la eficiencia energética de los motores que utilizan los tractores agrícolas, para pasar posteriormente a analizar la influencia que en esto pueden tener las transmisiones.

Para finalizar se darán unas recomendaciones prácticas para ahorrar combustible en la utilización de los tractores en el trabajo diario, algo que sí está al alcance de cualquier usuario que se preocupe por conseguirlo.



El consumo de gasóleo en los tractores y máquinas que trabajan en la agricultura española se encuentra alrededor de los 2 500 millones de litros por año. En consecuencia, una subida de 10 céntimos de euro ocasiona un incremento de los costes de producción agraria de 250 millones de euros, que incidirán directamente sobre las rentas de los agricultores.

Para la agricultura de secano se puede estimar que el consumo de gasóleo se encuentra entre los 70 y 150 L/ha, lo que hace que un agricultor con una explotación de 100 ha tenga que adquirir alrededor de 10 000 L/año. Asimismo, para un tractor de 100 CV que trabaje 600 horas/año el coste del combustible llega a ser del 30% de los costes totales del tractor (incluidos intereses y amortizaciones).

Con independencia de las reducciones fiscales y subvenciones que se puedan conseguir, el usuario dispone de otra alternativa que parece que se olvida: racionalizar la utilización de tractores y máquinas agrícolas para ahorrar combustible.

Esta idea no es nueva; cada vez que se produce un fuerte incremento de los precios del petróleo se recuerda que hay unas reglas prácticas que permiten

bajar el consumo de combustible de manera significativa, hasta el punto que una reducción de más del 10% en el consumo nacional podría conseguirse sin dificultad, o lo que es lo mismo, más de 250 millones de euros en el conjunto español, que equivalen, en términos económicos, a la bajada de 10 céntimos en el precio del gasóleo.

Con la evolución de los motores que montan los tractores se ha producido una reducción de los consumos, aunque ésta, que ha exigido grandes inversiones y años de investigación, ha sido pequeña si se compara con lo que puede conseguir el usuario haciendo las cosas bien, pero se requiere mayor dedicación en el trabajo diario.

Elegir un tractor adaptado a las necesidades

El tractor debe de ser el adecuado para accionar los aperos y máquinas que tiene asignadas, o lo que es lo mismo, utilizar un

tractor de más potencia no es necesario, salvo si se renuevan los aperos.

Analicemos dos opciones para renovar un tractor de 100 CV, sobre la base de que no se produce un incremento en la superficie agrícola de la explotación, ni se renuevan los aperos introduciendo otros de tamaño mayor.

El tractor de 100 CV tiene un coste de adquisición variable en función del nivel de tecnología que ofrece. Considerando un coste medio de 400 €/kW de potencia, se pagaría una cantidad de 29 200 €. Con estas mismas hipótesis, por un tractor de 125 CV habría que pagar 36 800 €. Sin embargo, se da el caso de que al mismo 'tractor' de 100 CV se le puede incrementar la potencia del motor, sin cambiar nada de lo demás, para alcanzar los 125 CV. La sobrepresión del turbo y la regulación de la inyección lo hacen posible, aumentando la potencia y el consumo de combustible, pero lo que sale de la fábrica sigue siendo un tractor de 100 CV, al menos en lo que

se utiliza para trabajar en el campo. Frente a esta posible modificación, que el lector saque sus propias consecuencias, pero el producto puesto en el mercado no vale más, aunque se ofrezca con precio mayor.

Volviendo al análisis de los costes de utilización del tractor y recurriendo a la metodología que se publicó en *agrotécnica* en junio de 2002 para la previsión de costes, con unas hipótesis de 7% de tasa de interés, 0.4 €/L de precio del gasóleo y carga media del motor del 50% a lo largo del año con 600 horas de trabajo por año, el coste horario resultante y el resumen anual para el tractor de 100 CV se presenta en el Cuadro 1.

En el mismo se observa que, con esta inversión en la compra del tractor, los costes fijos son del 49%, frente al 51% de los variables; el coste del combustible es del 30.4% del coste total, con un consumo anual de 6 570 litros.

Si se compran estos resultados con los correspondientes a un tractor de 125 CV que hace el

CUADRO 1.- PREVISIÓN DE COSTES DE UTILIZACIÓN DE UN TRACTOR DE 100 CV

PA	2 9200	€	Potencia	73	kW	Amortización	1 2000	horas	
tasa interés	7	%		99.28	CV	combinada	20	años	
gasóleo	0.4	€/L		400	€/kW	Seguros	0.2	%	
						Resguardo	0.1	%	
Consumo de combustible									
	baja	Media	alta						
carga	40.0	50.0	75.0	%	Mantenimiento- reparaciones	0.27	€ /L		
factor	0.129	0.150	0.207	L/h-kW	Consumo (carga media)	11.0	L/h		
Costes horarios (€/h)									
Horas	A1	A2	I	S+R	Combustible	Mant-repar.	[€/h]	[€/h]	
600	2.43	2.43	2.04	0.15	4.38	2.96	14.39	10.01	
gastos	fijos (%)			49.03	variables (%)		50.97		
					%		horas	años	
					Combustible (%)	30.4	Amortización	6 000	10.0
Costes anuales (€/año)									
Horas	A1	A2	I	S+R	Combustible	Mant-repar.	€/año	€/año	combustible
600	1 460	3 553	1 226	88	2 628	1 774	10 729	8 101	6 570

CUADRO 2.- PREVISIÓN DE COSTES DE UTILIZACIÓN DE UN TRACTOR DE 125 CV

PA	36 800	€	Potencia	92	kW	Amortización	12 000	horas	
tasa interés	7	%		125.12	CV	combinada	20	años	
gasóleo	0.4	€/L				Seguros	0.2	%	
				400	€/kW	Resguardo	0.1	%	
Consumo de combustible									
	baja	Media	alta						
carga	40.0	50.0	75.0	%	Mantenimiento- reparaciones	0.27	€/L		
factor	0.129	0.150	0.207	L/h-kW	Consumo (carga media)	11,9	L/h		
Costes horarios (€/h)									
Horas	A1	A2	I	S+R	Combustible	Mant-repar.	[€/h]	[€/h]	
600	3.07	3.07	2.58	0.18	4.75	3.20	Total	s/comb.	
gastos	fijos (%)		52,80		variables (%)		16.84	12.10	
					%		horas	años	
					Combustible (%)	28.2	Amortización	6 000	10.0
Costes anuales (€/año)									
Horas	A1	A2	I	S+R	Combustible	Mant-repar.	€/año	€/año	combustible
600	1 840	5 643	1 546	110	2 848	1 923	Total	s/comb	[L/año]
							13 910	11 061	7 121

mismo trabajo, sin renovar los aperos adaptándolos a la mayor potencia disponible, en primer lugar hay que habrá que destacar que se necesita realizar una mayor inversión, pasando de 29 200 € a 36 800 €, lo que incrementará los costes financieros. El consumo de combustible habrá que calcularlo sobre la base de una menor carga en el motor, pasando del 50 al 40% de carga media anual. En estas circunstancias el consumo pasaría de 0.150 a 0.129 L/hora y kW de potencia, pero aplicando estos factores sobre una potencia mayor, lo que incrementaría el consumo.

En consecuencia, se pasaría de consumir 11 L/hora con el tractor de 100 CV a 11.9 L/hora en el de 125 CV para hacer el mismo trabajo, lo que significa un total de 7 121 L/año, frente a los 6 500 L/año con el tractor de potencia menor. La previsión de lo que corresponde a gastos de mantenimiento y reparaciones, vinculada en esta metodología al consumo de combustible, evoluciona de una manera similar, por lo que la potencial reducción de

los costes correspondientes al trabajar el tractor con un nivel de carga no compensa el incremento derivado de la mayor inversión.

En resumen, pasar de un modelo con 100 CV a otro con 125 CV se produce un aumento de los costes anuales totales de 3 181 € (13 910 € - 10 729 €), o sea del 22.8% de incremento para hacer el mismo trabajo, consumiendo 551 litros de gasóleo más por año.

Se puede criticar la metodología aplicada para estos cálculos, especialmente en lo que se refiere a la amortización del capital invertido. Aumentando el periodo de amortización se reduciría este concepto del coste para ambos casos, pero las diferencias señaladas entre las dos opciones se mantienen, o sea, adquirir un tractor de más potencia para continuar haciendo lo mismo, y sin cambiar los aperos, produce un aumento del consumo de combustible en la explotación, a la vez que de los costes totales derivados de la utilización del tractor.

La primera conclusión que hay que sacar de todo esto es que las inversiones en equipo mecánico hay que analizarlas económicamente de forma global. El plan de trabajo de la empresa es el punto de partida; esto sirve para definir las máquinas necesarias y el tractor o tractores para accionarlas, de acuerdo con las características del suelo y de los tiempos disponibles.

Las diferencias en los motores

Una vez decidida la potencia necesaria, se necesitan analizar las características de los modelos que la ofrecen. Son aspectos importantes, para reducir el consumo de combustible: el consumo específico del motor, la reserva de par motor y la reserva de régimen y el escalonamiento de la caja de velocidades. Estas diferencias aparecen incluso entre modelos de la misma marca, o pueden ser alternativas que acompañan a un determinado modelo que recibe la misma denominación comercial.

CUADRO 3.- CONSUMOS DE COMBUSTIBLES EN DIFERENTES CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES

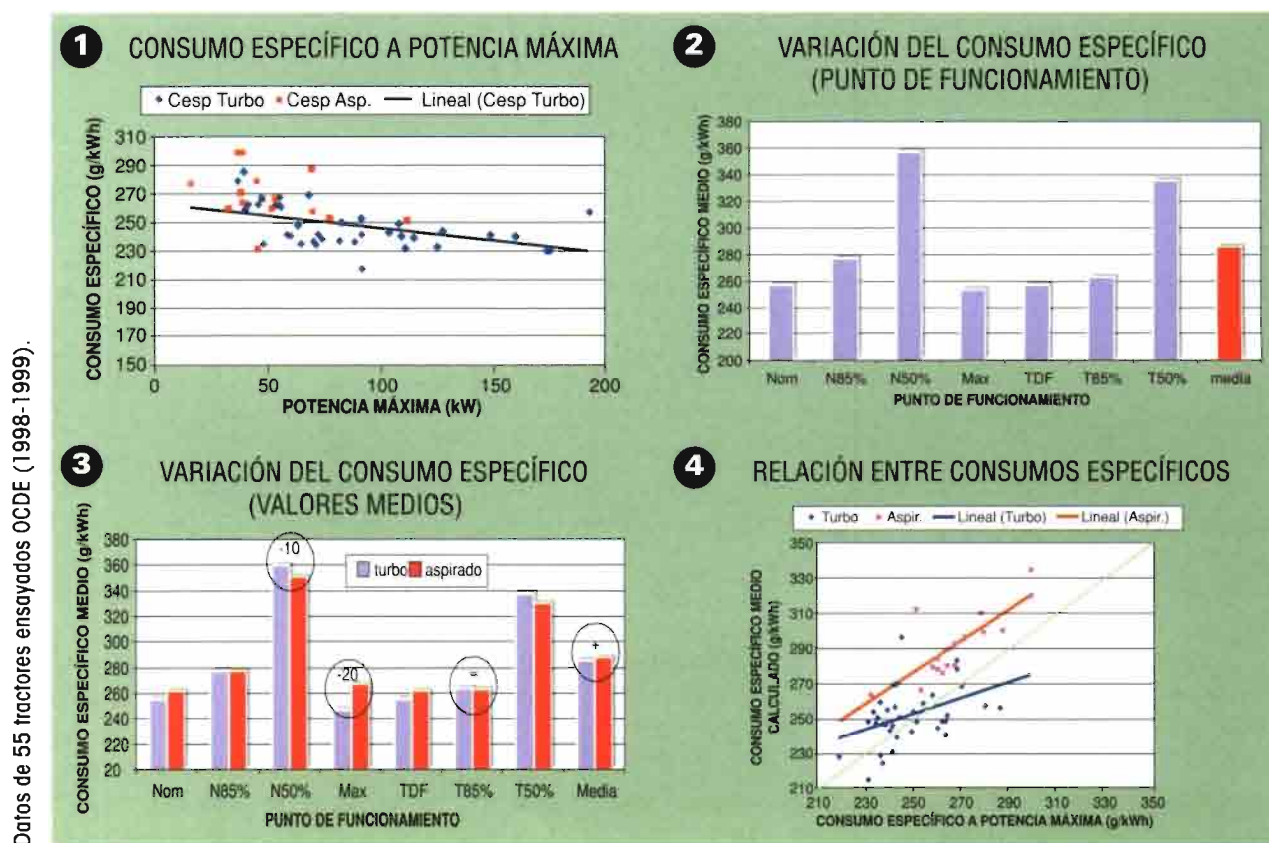
MODELO	RÉGIMEN NOM. MOTOR (rev/min)	ENSAYO 2 HORAS POTENCIA MÁXIMA			TDF 1000 POT. MAX. (kW)	CONSUMO A CARGAS PARCIALES			
		POTENCIA (kW)	RÉGIMEN (rev/min)	CONS. ESP. (g/kWh)		CARGA ALTA		CARGA BAJA	
						(L/h)	(g/kWh)	(L/h)	(g/kWh)
A	2 300	72.2	2 300	259	67.7	19.96	261	12.68	322
B	2 300	68.2	2 300	258	68.0	18.22	260	11.41	320
C	2 500	73.9	2 498	253	73.8	19.95	261	13.24	336
D	2 100	69.0	2 112	281	68.2	21.13	289	14.17	375
E	2 300	70.1	2 300	240	69.1	18.18	248	12.02	322
F	2 200	68.9	2 228	277	66.0	19.80	279	12.98	357
G	2 200	73.8	2 200	253	72.6	18.96	254	11.77	316
H	2 350	69.5	2 348	251	68.2	18.91	262	12.38	333
I	2 200	72.8	2 203	272	71.9	20.10	267	12.99	336
media	2 272	70.9	2 277	260	69.5	19.50	265	12.60	335
max.	2 500	73.9	2 498	281	73.8	21.13	289	14.17	375
min.	2 100	68.2	2 112	240	66.0	18.18	248	11.41	316

No resulta sencillo encontrar la información que interesa, ya que las empresas, frente a unos potenciales compradores que sólo se preocupan por "los caballos" y "el precio", sin olvidar lo que pueden recibir a cuenta del tractor viejo, ofrecen unos catálogos con vistosas fotografías, pero con las características técnicas reducidas al mínimo. Hay, sin duda, excepciones.

Durante muchos años en Francia se ha venido publicando una información bastante completa de los consumos de combustible y la potencia de los motores de los tractores, medidos en ensayos a la toma de fuerza. Con la aplicación de la normativa de homologación europea ('tipo CE') ya no se exige que los fabricantes suministren esta información, por lo que sólo se en-

cuentra la de los tractores que voluntariamente se presentan a ensayos OCDE en cualquiera de los laboratorios integrados que aplican estos Códigos. La información correspondiente a estos tractores se puede encontrar en Internet (www.OECD.org), y junto con la que aparece en el catálogo comercial de la marca, hacen posible sacar algunas conclusiones.

FIGURA 1



Los consumos específicos de los motores

Utilizando estas fuentes de información, en el Cuadro 3 se presentan 9 modelos de tractor con una potencia similar (70.9 kW de potencia media; 1 kW equivale a 1.36 CV) junto con los consumos de combustible correspondientes a plena potencia y a cargas parciales. Se puede observar que no siempre el menor consumo a plena potencia se corresponde con el menor consumo a potencia reducida. Además, conseguir un bajo consumo en un punto de funcionamiento no va a resultar significativo para un tractor que funciona con diferentes niveles de carga y a régimen variable, por lo que habría que hacer las comparaciones sobre la base de un consumo específico medio. No hay que olvidar que el consumo específico indica el grado de eficiencia del motor, o, lo que es lo mismo, el trabajo que puede realizar por cada litro de combustible.

En la Figura 1 se presentan cuatro gráficos, publicados con anterioridad en **agrotécnica**, y que pueden consultar, junto con otros que los complementan, en nuestra *Guía de Tractores 2003*, que ponen de manifiesto las diferencias de los consumos en los distintos puntos de funcionamiento del motor y como varían en los motores de aspiración natural y en los turboalimentados.

En el primero de estos gráficos se puede apreciar que a medida que aumenta la potencia máxima tiende a reducirse el consumo específico correspondiente, así como que los motores turboalimentados ofrecen un menor consumo específico. En el siguiente se observa cómo cambia el consumo específico en cada uno de los puntos de funcionamiento considerados (régimen

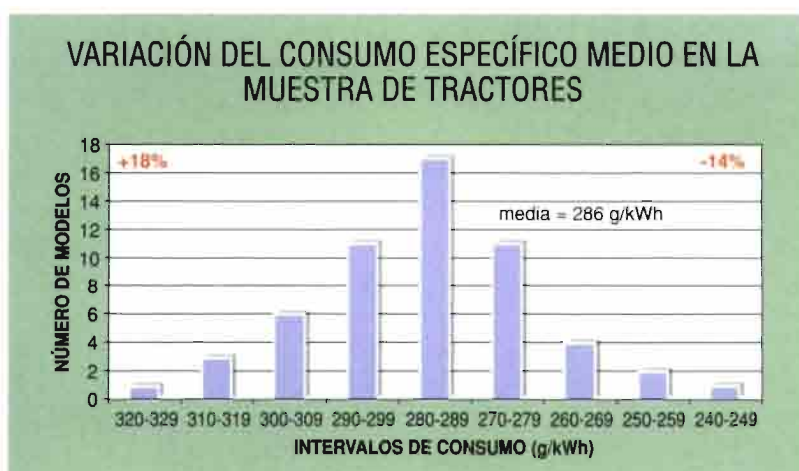


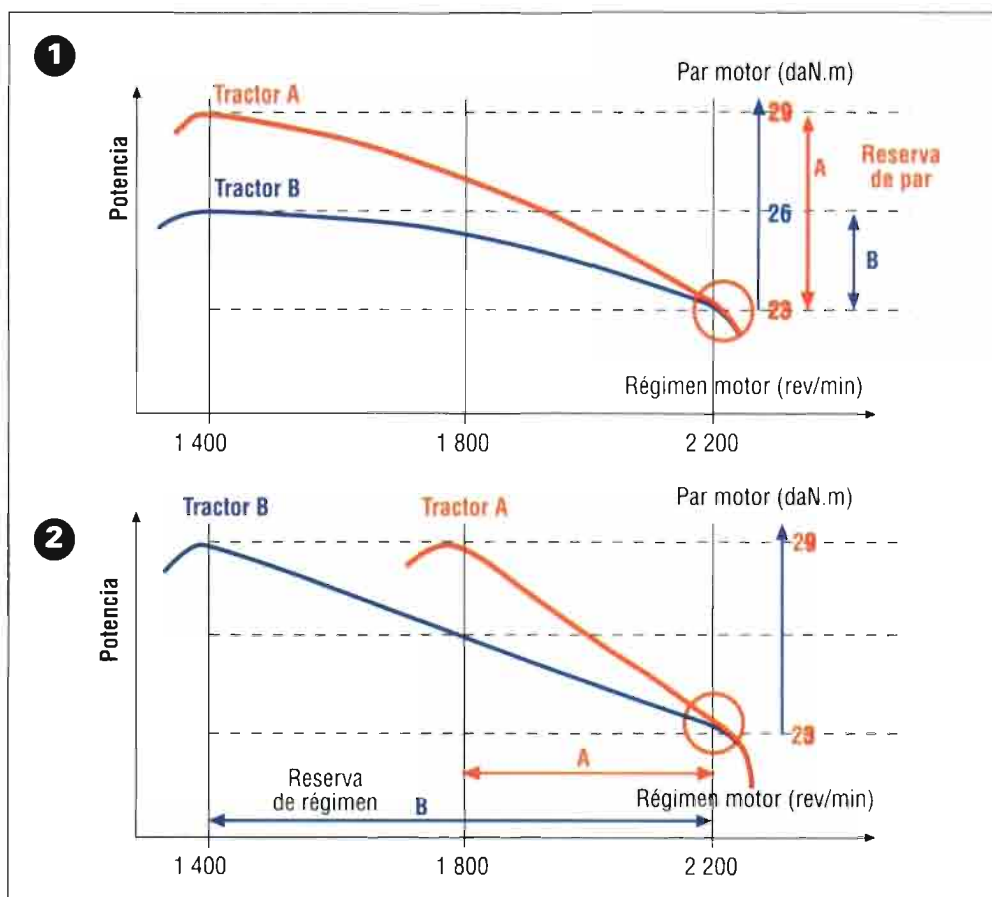
FIGURA 2

nominal y de toma de fuerza normalizada con diferentes niveles de carga), así como el valor medio calculado. En el tercero de los gráficos se hace esta misma comparación distinguiendo entre los motores de aspiración natural y los turboalimentados. Por último, en el cuarto gráfico se puede observar que el consumo medio calculado, comparado con el consumo a potencia máxima, sigue pautas diferentes según se trate de motores turboalimentados (menor consumo medio para igual consumo a

máxima potencia) o de aspiración natural.

Completando esta comparación, en la Figura 2 se presenta la variación del consumo medio en una muestra de tractores que marca diferencias significativas entre los modelos considerados, lo que ya puede tomarse como punto de partida, pero también habrá que tener en cuenta lo que sucede con la reserva de par y con la reserva de régimen para poder definir el modelo que mejor conviene para una determinada aplicación.

FIGURA 3



La reserva de par y la reserva de régimen

La reserva de par permite que el tractor soporte una sobrecarga pasajera, sin tener que recurrir al cambio de marchas. Con una reserva de par baja el número de relaciones del cambio deberá de ser más elevado.

La reserva de par se calcula como porcentaje de la diferencia entre el par máximo y el par nominal, referido al par nominal. Según se puede apreciar en la figura 3-1, el tractor A ofrece una reserva de par del 26.1% $[(29 - 23) \times 100 / 23]$, mientras que el B solo proporciona el 13.0% $[(26 - 23) \times 100 / 23]$.

En consecuencia, el tractor A soporta más fácilmente una sobrecarga en el trabajo (sin cambiar de marcha) que el tractor B, en el que hará que recurrir al cambio de marchas para evitar que el motor se cale. Un buen cambio en carga puede compensar la menor reserva de par en el motor. En cualquier caso se pueden establecer cuatro catego-

rias: baja reserva de par, considerando en este grupo los motores cuya reserva está entre el 10 y el 15%, media para valores entre el 15 y el 25%, alta del 25 al 35% y muy alta cuando se supera el 35%. En muchos motores con los sistemas de inyección modernos se consigue superar el 35% de reserva de par. En general, un tractor polivalente necesita que su reserva de par supere el 20%.

Por otra parte, hay que considerar la reserva de régimen, equivalente a la caída de vueltas que se produce entre el régimen nominal y el de par máximo. En la Figura 3-2 se representan las curvas características de dos motores con diferente reserva de régimen, que se puede calcular como porcentaje de la diferencia entre el régimen nominal y el régimen de par máximo con respecto al régimen nominal.

Ambos tractores son idénticos: igual potencia máxima, régimen nominal, par máximo y re-

serva de par. La opción que más conviene depende de las aplicaciones del tractor; para tracción será mejor el tractor B, ya que permite utilizar el tractor a bajo régimen, lo que repercute en un menor desgaste y en la reducción del consumo de combustible. Si se utiliza en operaciones a la toma de fuerza, con demanda de potencia apreciable, puede ser conveniente la opción A, ya que el régimen nominal de la toma de fuerza se aproxima al régimen nominal del tractor, lo que proporciona mayor potencia en motores 'clásicos' considerando como tales los que no ofrecen potencia 'constante' o potencia 'extra'. Este tractor podrá arrastrar un arado similar al del tractor B, pero con el motor trabajando a un régimen más alto; también necesita una caja de cambio con mayor número de escalones. Es conveniente en tractores polivalentes que la diferencia entre el régimen de par máximo y nominal sea al menos de 800 rev/min.

CUADRO 4.- PRESTACIONES DE UN MOTOR DE 4.5 LITROS DE CILINDRADA TURBOALIMENTADO Y POST-ENFRIADO EN FUNCIÓN DE LA REGULACIÓN ESTABLECIDA POR EL FABRICANTE

Régimen del motor [rev/min]	1 400	1 500	1 800	2 100	2 300		consumo	reserva
Modelo A								
Presión media [daN/cm ²]	8.5	par máx.	máx.		nom.		6 puntos	par régimen
Potencia [kW]		57.2	69.4		66.3			
Par motor [Nm]		390	368		275			41.7 39.1
Consumo horario [L/h]			18.8		19.9		14.5	
Consumo específico [g/kWh]			225		249		322	
Modelo B								
Presión media [daN/cm ²]	9.3	par máx.	máx.		nom.		6 puntos	par régimen
Potencia [kW]		65.5	82.0		72.6			
Par motor [Nm]		417	373		301			38.3 34.8
Consumo horario [L/h]			22.9		21.7		14.5	
Consumo específico [g/kWh]			232		247		307	
Modelo B+								
Presión media [daN/cm ²]	10.1	par máx.	máx.		nom.			par régimen
Potencia [kW]		65.5	84.2		80.6			
Par motor [Nm]		417	383		335			24.6 34.8
Consumo horario [L/h]			23.9		23.6			
Consumo específico [g/kWh]			235		243			

Todo está interrelacionado

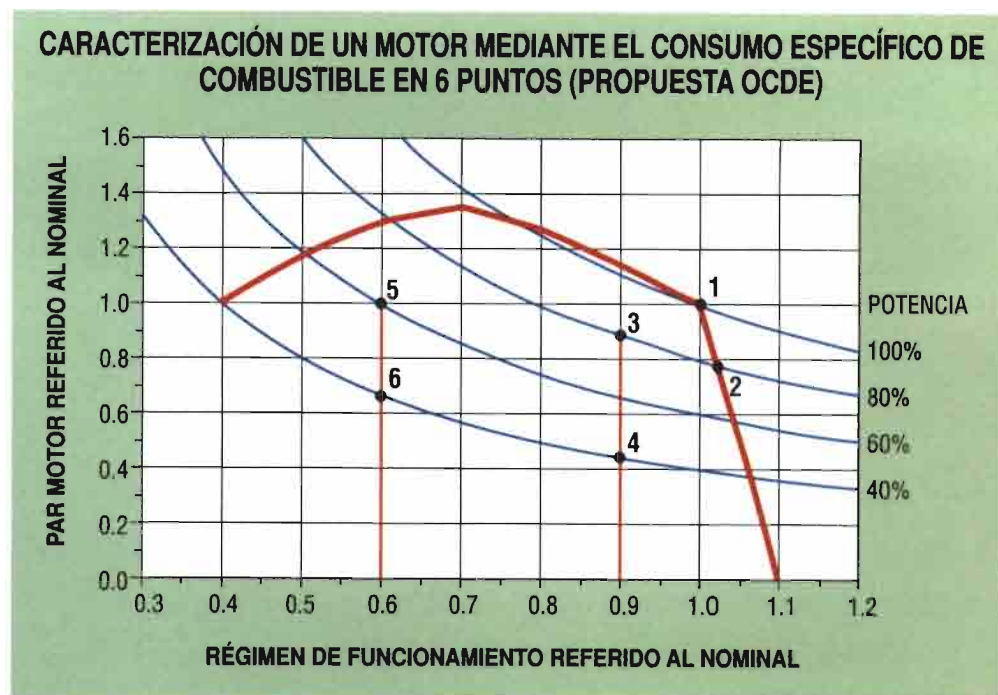
Para completar este análisis de los motores buscando aquellos que economizan combustible sin perder prestaciones, conviene revisar de manera conjunta la evolución del consumo junto con otros parámetros importantes para conseguir que el tractor satisfaga las necesidades del usuario.

En el Cuadro 4 se presenta un resumen con los resultados de los ensayos realizados, según los códigos OCDE, sobre dos modelos de tractores de la misma marca que utilizan el mismo motor con diferente regulación. En este caso ambos utilizan los sistemas de inyección de *common rail*.

Se puede observar cómo en el primero de los modelos sólo se consiguen 66.3 kW de potencia al régimen nominal y 69.4 kW de potencia máxima a 1 800 rev/min (potencia extra), pero también que el par máximo se consigue a un régimen de 1 400 rev/min.

En el modelo B se han conseguido 72.6 kW de potencia a régimen nominal pasando de consumir 19.9 litros de gasóleo por hora a 21.7 L/h; también la potencia máxima ha aumentado hasta 82.0 kW, pero con mayor régimen de giro (2 100 rev/min) y el par máximo, que es mayor, se obtiene a 1 500 rev/min, perdiendo 100 vueltas por minuto con respecto a lo que se observa en el modelo A.

Como consecuencia, la reserva de par ha caído de 41.7% a 38.3%, y la reserva de régimen de 39.1% a 34.8%. El consumo horario a régimen nominal ha aumentado, pero no así el consumo específico que resulta algo menor (247 g/kWh frente a 249 g/kWh), pero hay ventaja del modelo A para el punto de funcionamiento correspondiente a potencia máxima, en el que el consumo específico es de 225 g/kWh frente a los 232 del mo-



El valor medio del consumo específico correspondiente a los 6 puntos daría la eficiencia energética del motor instalado en el tractor.

FIGURA 4

delo B. La mayor potencia que suministra el motor con la regulación B, es en parte consecuencia de que la presión media en el ciclo termodinámico ha pasado de 8.5 a 9.3 daN/cm², lo que significa que el motor debe de soportar una mayor tensión en sus elementos estructurales.

Por todo ello, las comparaciones relativas al consumo de combustibles realizadas entre motores exigen no sólo considerar el consumo de combustible a potencia máxima, sino que deben de incluir los consumos a cargas parciales y a régimen reducido (lo que se indica en el cuadro como consumo en '6 puntos'), sin olvidar el efecto que la regulación tiene sobre la reserva de par y la reserva de régimen. Esta información sobre consumos a cargas parciales se viene suministrando, de manera voluntaria, en los tractores que se comercializan en Alemania, y parece que en el futuro se incluiría como optativa en el Código OCDE (en la más reciente versión de estos códigos todavía no aparece, pero algunos laboratorios ya las realizan) y es una alternativa a las curvas de 'isoconsumo', más costosas de elaborar, ya que se realiza junto con el ensayo del motor a la toma de fuerza (Figura 4).

Todavía hay algo más; el modelo B dispone del sistema que permite aumentar la potencia disponible en determinadas condiciones de funcionamiento del tractor (trabajo de la tdf, transporte...), lo que se consigue aumentando la inyección. En estas condiciones, la potencia aumenta (también la presión media), pero se pierde reserva de par. Aún queda por considerar la interacción del motor con la transmisión, aspectos que se tratarán con posterioridad.

Elegir la alternativa más adecuada para cada explotación agrícola, en función de las diferentes soluciones posibles, no resulta sencillo; sin embargo, la formación profesional en aspectos relacionados con la mecanización de la agricultura parece abandonada en todos los niveles de la enseñanza.

Lamentablemente, en España, a diferencia de lo que sucede en países como Francia, no hay consultores especializados que ayuden al empresario agrícola a buscar una solución adecuada a sus necesidades, por lo que en la mayoría de los casos la inversión que se realiza en maquinaria no es la que interesa desde una perspectiva económica, aunque sí pueda ser la que ofrece mejor imagen en el entorno agrícola de la región. ■