

LUIS MÁRQUEZ  
Dr. Ing. Agrónomo

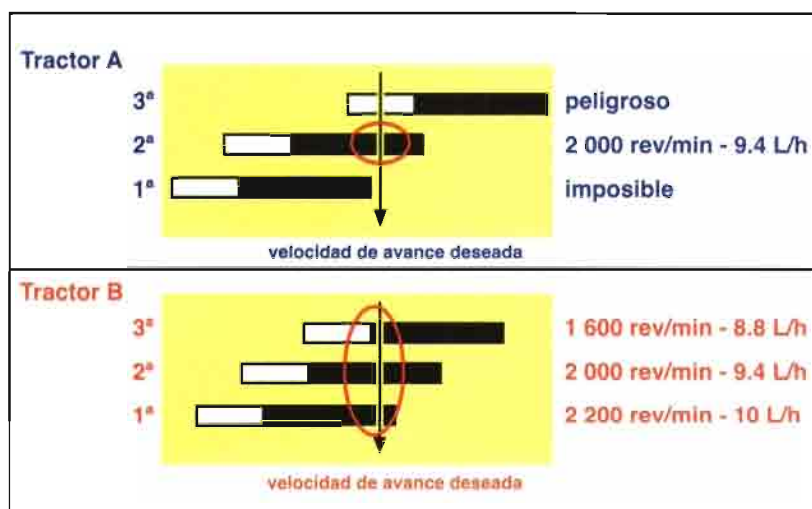
# AHORRAR COMBUSTIBLE (II)

## Lo que ofrece la transmisión y la forma en la que se utiliza

Continuando con el análisis de los criterios que permiten comparar tractores en relación con el consumo de combustible, y en función de tipo de trabajo que realizan, seguidamente se abordan algunos aspectos relativos a la caja de cambios, que completan el análisis correspondiente a los motores que se publicó en el número pasado de **agrotécnica**.



FIGURA 1. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS TRACTORES CON IGUAL POTENCIA Y DIFERENTE CAJA DE CAMBIOS



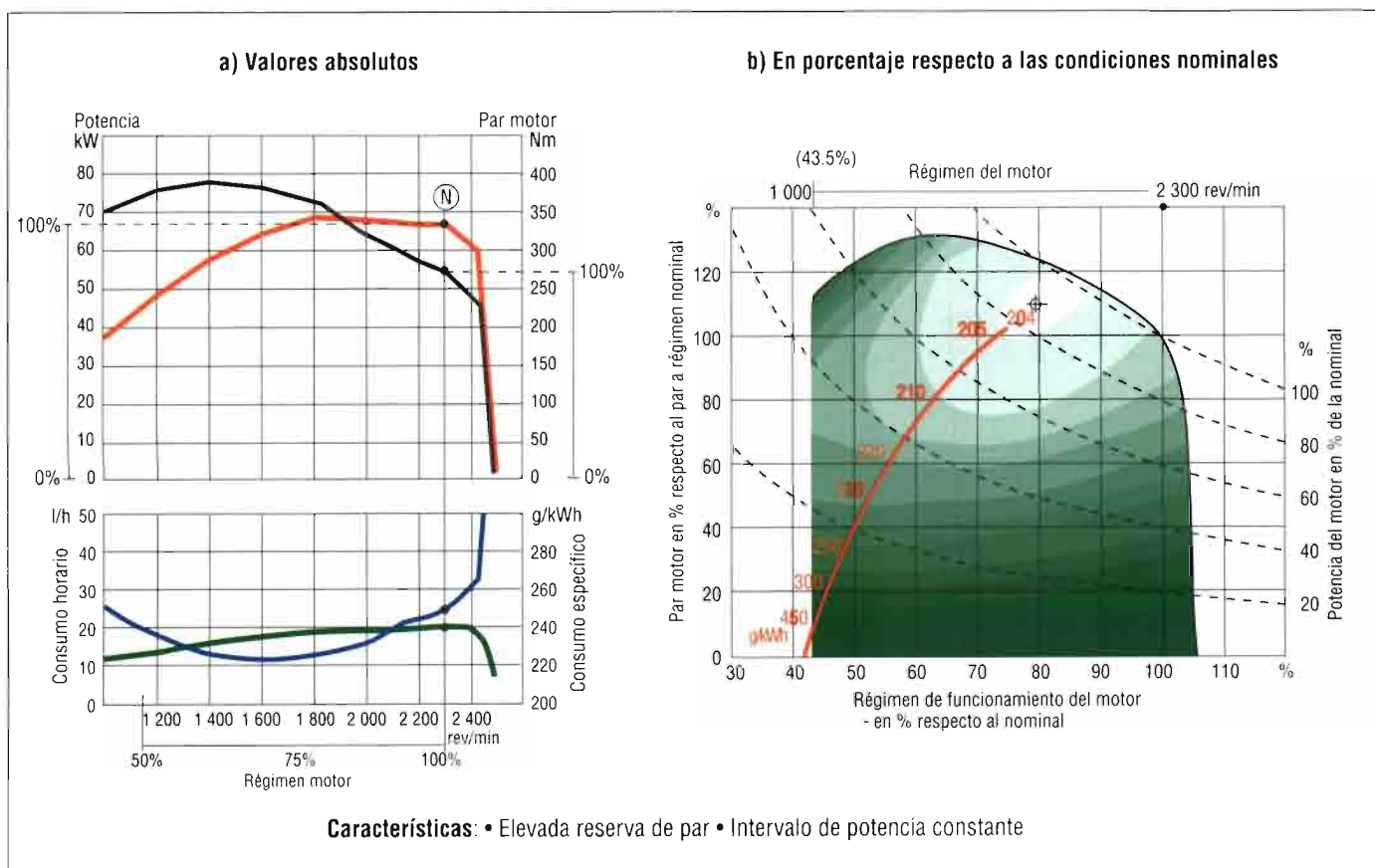
### El escalonamiento de las marchas

Para el trabajo de campo resulta muy importante el número de relaciones del cambio que permiten trabajar en el intervalo de 4 a 12 km/h.

A medida que el número de relaciones aumenta es posible ajustar mejor el régimen de funcionamiento del motor a la velocidad de avance, de manera que lo haga en una situación que minimice el consumo de combustible. Sin embargo, un elevado número de relaciones del cambio no puede considerarse *a priori* como un criterio determinante.

En la Figura 1 se presentan los casos de dos tractores con igual potencia cuyo escalona-

FIGURA 2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR TIPO 'POTENCIA CONSTANTE' PARA TRACTOR AGRÍCOLA



miento de la caja de cambios es diferente. Para cada una de las relaciones del cambio consideradas, que se representan como bandas, la zona en la que cambia la banda de color claro a oscuro representa el régimen correspondiente a par máximo, por lo que la parte clara de la banda indica que el motor funcionaría a un régimen menor al de par máximo, mientras que la parte oscura corresponde a los valores de régimen de funcionamiento entre el nominal y de par máximo, o, lo que es lo mismo, la zona normal de trabajo del motor en condiciones de campo.

Para el tractor A sólo una relación del cambio (2ª) permite avanzar a la velocidad deseada, con 2 000 rev/min del motor para la que el consumo de combustible es de 9.4 L/h. Intentar trabajar con la 3ª resulta peligroso, ya que el motor se calaría al producirse una sobrecarga. La 1ª relación está fuera del campo de utilización.

Con el tractor B se puede elegir entre tres relaciones que

permiten asegurar la velocidad de avance establecida con el motor 2 200, 2 000 y 1 600 rev/min, lo que conlleva consumos de combustible de 10.0, 9.4 y 8.8 L/h respectivamente. En todos los casos se mantiene la potencia del motor y la potencia de tracción. No siempre se puede elegir la que proporciona el menor consumo, ya que en cierto modo la elección depende de la variabilidad en el esfuerzo que demanda el apero; trabajar a muy bajo régimen del motor limita la potencia máxima disponible. Si se dispone de una caja con cambio en carga para dos o más relaciones sería más fácil adaptarse en cada momento a la situación real.

### Elegir la relación que permite ahorrar sin perder capacidad de trabajo

Para ello hay que considerar, de manera combinada, el régi-

men del motor más favorable junto con la relación de la caja de velocidades que mejor se ajusta al tipo de operación.

Cuando se dispone de las curvas características de un motor moderno (tipo 'potencia constante'), como las que aparecen en la Figura 2a, se puede observar que el par motor aumenta a medida que se reduce el régimen de giro hasta que se alcanza el punto de par máximo. En consecuencia, la curva de potencia, producto del par motor por el régimen de giro, crece al principio (el par motor aumenta más rápidamente de lo que descende el régimen de giro), hasta llegar a potencia máxima (1 800 rev/min en el motor correspondiente a las curvas de la Figura 2). A partir de este punto la potencia descende progresivamente.

Junto con las curvas características de potencia y par motor se representa las de consumo horario y de consumo específico. Se observa como el consu-

mo específico, que es el que indica la eficiencia del motor en la transformación de la energía química del combustible, se reduce para llegar a un valor mínimo que se encuentra a un régimen ligeramente más elevado que el que corresponde al par máximo. Este, en el motor que se utiliza como ejemplo, corresponde a 1 800 rev/min.

Como consecuencia, trabajando a 1 800 rev/min, aunque sea a diferentes niveles de carga, la eficiencia del motor será mayor y disminuirá el consumo de combustible.

Disponiendo de la información relativa a las curvas de isconsumo se podría definir con mayor precisión las condiciones ideales de funcionamiento, pero esto no es imprescindible, ya todos los motores siguen unas pautas parecidas.

En los motores tradicionalmente utilizados en los tractores agrícolas, la potencia máxima se obtiene a régimen nominal. Sin embargo, buscando motores más adaptados a lo que demanda el trabajo agrícola, se ha llegado a soluciones que permiten aumentar considerablemente la reserva de par, lo que hace posible trabajar con sobrecarga sin tener que recurrir al cambio de

marchas. Esto se ha conseguido a partir de motores con gran cilindrada, en los que se limita voluntariamente la potencia máxima que podrían suministrar, y el empleo de la turboalimentación. De esta forma se ofrece potencia constante o potencia extra, e incluso variación de las curvas características (dos familias de curvas características diferentes) en función del tipo de trabajo que realiza el tractor.

## EL CONSUMO ESPECÍFICO ES MENOR A UN RÉGIMEN DEL MOTOR PRÓXIMO AL DE PAR MÁXIMO

Estos motores se comportan de manera algo diferente, en cuanto a su consumo a régimen y a cargas parciales, como se puede apreciar en la Figura 2b, en la que se presenta el diagrama con las curvas de isconsumo correspondiente a un motor mo-

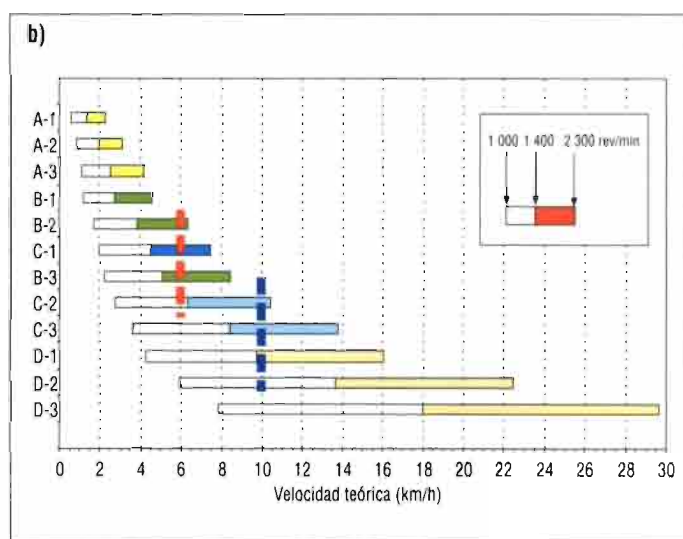
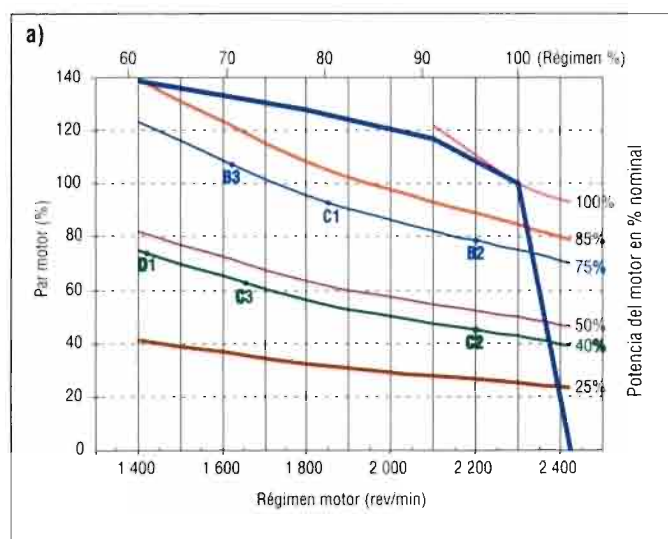
derno de los que se utiliza en los tractores agrícolas. Este diagrama también se utiliza para analizar la influencia que tiene sobre el consumo la elección de las diferentes relaciones de un cambio de marchas (figura 3a), aunque el régimen del motor considerado se exprese en términos absolutos.

### En labores pesadas

Considerando un tractor que utiliza un motor cuyas curvas características son las que aparecen en la Figura 3a, si se pretende hacerlo trabajar a 6 km/h de velocidad teórica, tomando como referencia el diagrama de velocidades que se representa en la figura 3b, se deduce que esto podría conseguirse utilizando las relaciones del cambio designadas como B-2, C-1 y B-3. Para la relación B-2 el motor debería de funcionar a 2 150 rev/min para alcanzar los 6 km/h, mientras que si se utiliza la C-1 el régimen sería de 1 850 rev/min. En el caso de utilizar la B-3 el régimen de funcionamiento del motor sería de sólo 1 630 rev/min.

Suponiendo que la potencia demandada por el trabajo fuera del 75% de la potencia disponible al régimen nominal del motor, los puntos de funcionamien-

FIGURA 3. RELACIONES DE TRANSMISIÓN UTILIZADAS EN COMBINACIÓN CON EL MOTOR



to se encontrarían sobre la línea de potencia correspondiente. En consecuencia, trabajar con la relación B-2 significa consumir casi 218 gramos de gasóleo por cada kWh de trabajo producido, mientras que con la relación C-1 este consumo se reduciría a 208 g/kWh y con la B-3 se podría llegar a 206 g/kWh.

Al ser las relaciones B-2 y B-3 del mismo grupo, y existiendo la posibilidad de pasar de una a la otra sin interrumpir la transmisión del movimiento del motor a las ruedas (cambio en carga), sería la relación B-3 la más conveniente, ya que, aunque en ella se utilizan casi el 100% del par nominal, todavía se dispone de par de reserva (casi el 40%) y 150 rev/min de margen hasta el régimen de par máximo.

En el caso de no disponer de cambio en carga, para el caso de un trabajo pesado, como el que indica la utilización del 75% de la potencia del motor, sería preferible quedarse con la C-1, especialmente cuando se trabaja en parcelas en las que la carga del apero sea variable, bien por las características y el estado del suelo, bien por las variaciones de pendiente. En ambas situaciones, para el tractor analizado en este ejemplo, el ahorro de combustible que se puede conseguir trabajando con el motor a mayor régimen y una marcha corta, frente a una marcha más larga bajando el régimen del motor, sería de  $218 - 207 = 11$  g/kWh, que para la



potencia utilizada de 45 kW llevaría a ahorrar  $45 \times 11 = 495$  gramos a la hora, o sea alrededor de medio litro de gasóleo por cada hora trabajada, sin perder capacidad de trabajo.

## CUANDO SE UTILIZA UN BAJO PORCENTAJE DE LA POTENCIA DISPONIBLE EN EL MOTOR ÉSTE SE HACE MENOS EFICIENTE

### En labores ligeras

Analizando el caso del tractor utilizado en una labor ligera que demande el 40% de la potencia disponible en el motor, desarrollada a una velocidad 10 km/h, en

las citadas figuras se observa que se podrían utilizar las relaciones del cambio C-2, C-3 y D-1, a las que corresponderían, como régimen de funcionamiento del motor los valores de 2 200, 1 670 y 1 430 rev/min, y con consumos específicos de 260, 225 y 217 g/kWh, respectivamente.

Al igual que en el caso de trabajar a 6 km/h, en la nueva situación la relación D-1 es la que más interesa desde el punto de vista energético, pero como consecuencia de que el régimen del motor (1 430 rev/min) está muy cerca del correspondiente a par máximo, solo podría hacerse si el escalón con la relación del cambio anterior fuera del tipo de cambio en carga, para poder utilizarla de manera inmediata en el caso de sobrecarga. Si no se da esta situación, lo más adecuado sería trabajar en la C-3 a 1 670 rev/min, con un ahorro de combustible de  $260 - 225 = 35$  g/kWh, equivalentes a 826 gramos de gasóleo, prácticamente 1 litro, por cada hora trabajada.

De este ejemplo se saca una conclusión adicional: cuando las máquinas que se utilizan demandan un bajo porcentaje de la potencia disponible en el motor del tractor la eficiencia en el aprovechamiento del combustible se reduce. O sea, al aumentar la potencia disponible en los tractores sin hacer lo mismo con los aperos aumentará el consumo de combustible, aunque sean los nuevos motores más eficientes. ■

