

## EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LOS TRACTORES

# LOS MOTORES Y LAS TRANSMISIONES (PARTE 1)

El Prof. Márquez dedicará los dos próximos artículos técnicos a la valoración energética de los diferentes elementos de los tractores. Esta primera parte se centra en los motores y las transmisiones, dejando para el próximo mes el sistema hidráulico, los neumáticos y otros elementos auxiliares.



**LUIS MÁRQUEZ**

El tractor es una unidad energéticamente incompleta, ya que su comportamiento depende del tipo de trabajo que realiza y del apero o de la máquina que en cada momento acciona. Esta situación se puso de manifiesto en las pruebas públicas realizadas en Mollerussa, en marzo de 2006 (ver *agrotécnica* de mayo de 2006), en las que, el mismo tractor, al cambiar un apero de 2.60 m, por otro de 4.50 m con idénticas características, conseguía una reducción del 23% en el consumo de gasóleo por ha, diferencia muy superior a la que se pueden encontrar, de manera

global, entre modelos de tractores de la misma categoría de potencia.

Tampoco se puede decir que todos los tractores ofrezcan la misma eficiencia energética, ya que en ella intervienen motores, transmisiones, enganches, neumáticos, lastres, electrónica, etc., aunque la influencia que tienen sobre el consumo las diferentes opciones siempre están condicionadas por el medio agrícola, de manera que lo que puede ser conveniente para una determinada situación, sería negativo en otras.

Ya ha pasado algún tiempo desde que la administración pública intentara una clasificación energética, que por lo que de-

muestran las estadísticas de ventas, no ha sido interesante para los compradores; tampoco para los fabricantes que, en los últimos años, han tenido que cambiar los motores de los tractores presentes en el mercado para adaptarse a la normativa de emisiones contaminantes de los gases de escape.

En consecuencia, se puede hacer un análisis sobre la influencia que los diferentes componentes del tractor tiene en su eficiencia energética, dirigida no a clasificar con una simple letra (A, B, C...) cada modelo de tractor con sus múltiples variantes, sino para orientar al comprador en la elección del modelo que más le conviene, de acuerdo con

sus necesidades, siempre utilizando la información que se encuentra disponible, porque proviene de ensayos que se realizan para la homologación de tipo CE obligatoria.

## Los motores

### Las curvas de 'isoconsumo'

Hace algunos años era posible conseguir las que se definen como curvas de 'isoconsumo' de los motores, que relacionaban sus prestaciones (par motor, régimen de funcionamiento y potencia desarrollada) con el consumo de combustible expresado en g/CVh (ó g/kWh).

Cuando se comparaban las curvas correspondientes a diferentes modelos de motor, se podía observar, como es lógico, una cierta similitud, ya que los principios de funcionamiento de los motores son idénticos.

Las curvas de 'isoconsumo' de un motor ofrecen información

sobre los consumos específicos en cada punto de funcionamiento del motor, aunque por los ensayos que se necesitan para su obtención se aprecian inconvenientes:

- Se realizaban sobre el motor separado del tractor, para eliminar la influencia de la transmisión entre el motor y la toma de fuerza, y para poder mantener las condiciones ambientales estándar.
- Los tiempos de ensayo necesarios para obtenerlas son largos, lo que indica que se trata de ensayos costosos. Así, siempre se han incluido en los boletines OCDE de manera opcional y el porcentaje de boletines con esta información ha sido siempre muy reducido.

Con la entrada de la electrónica en los motores, la información sobre las curvas de isoconsumo 'ha desaparecido' de la documentación técnica que ofrecen los fabricantes, incluso para utilización restringida, como conse-

cuencia de que la inyección se ajusta para adaptarse a las condiciones ambientales del momento y a las de carga del motor, especialmente cuando se utiliza el common rail. En algunos motores la 'memoria' dispone de 300 referencias para gestionar el motor en diferentes puntos de funcionamiento, referencias que se pueden cambiar desde fuera con un ordenador externo conectado al motor. (O con una unidad electrónica externa, como hacen algunos usuarios. Ver: **agrotécnica** de diciembre 2006 – *El chiptuning de los tractores*).

### Consumo de combustible a bajo régimen y nivel de carga

Para subsanar estos inconveniente, en la última revisión del código OCDE se ha introducido la posibilidad de un ensayo (voluntario) que sirva para definir el comportamiento del motor en relación con el consumo específico de combustible a partir de la medida de las prestaciones en 6

FIGURA 1.- CURVAS DE ISOCONSUMO DE DIFERENTES MOTORES

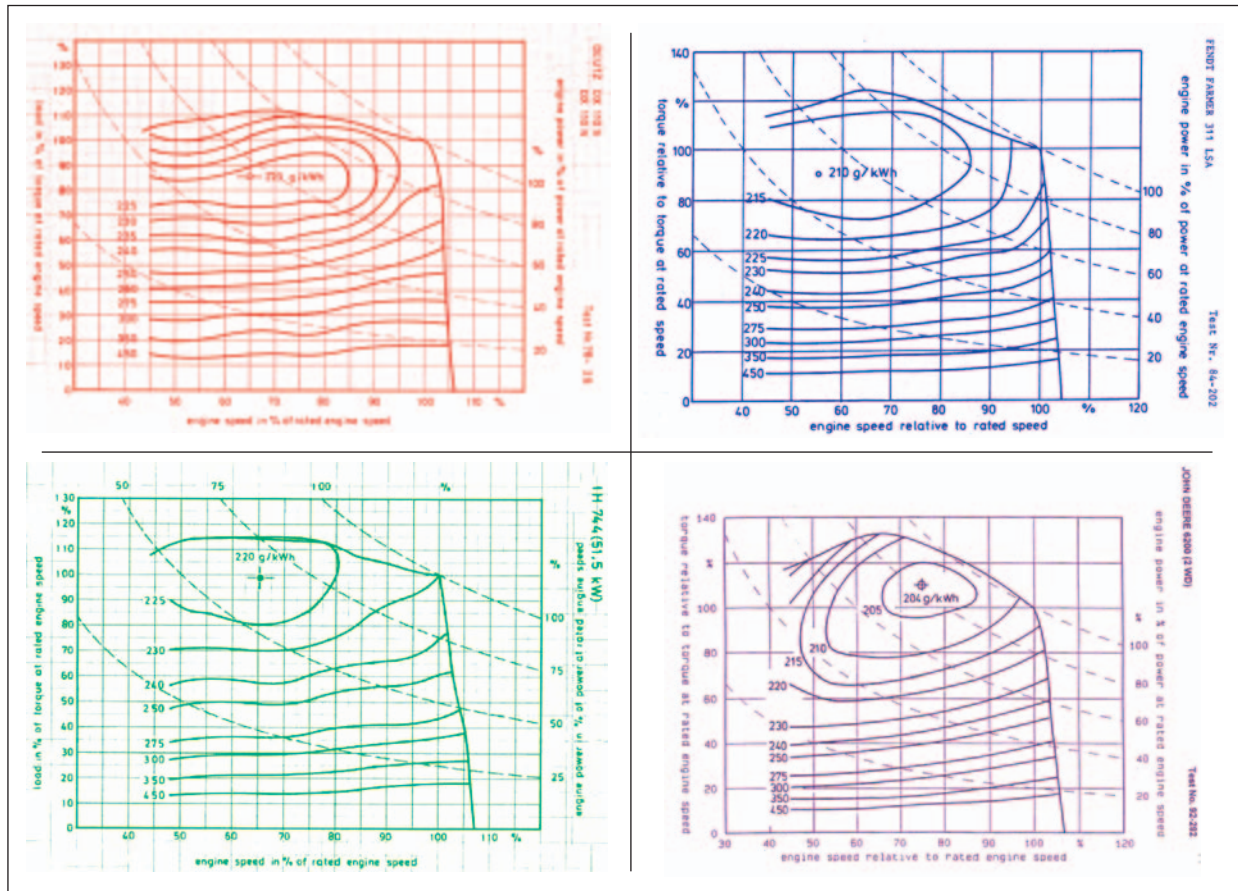
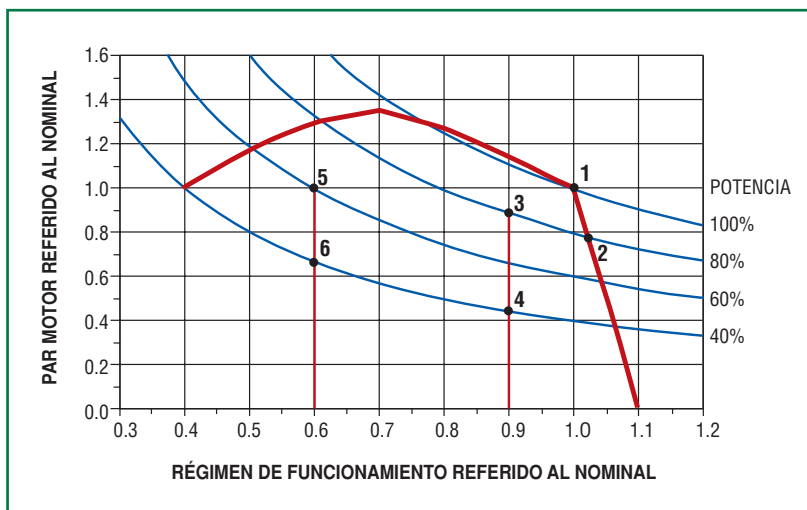


FIGURA 2.- DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON CARGAS PARCIALES (OCDE)



puntos representativos. Este ensayo se realiza midiendo sobre la toma de fuerza principal.

- A partir de los 6 puntos es posible dibujar de manera aproximada las curvas de isoconsumo.
- El ensayo está influenciado por el tipo de relación entre el motor y la toma de fuerza, por lo que los tractores con la transmisión más simple y sin sistema de lubricación forzada salen favorecidos, salvo que la transmisión entre motor y tdf no comparta elementos con el cambio de marchas.
- Las transmisiones más complejas, que permiten cambios en carga, dan generalmente más pérdidas, que en el trabajo de campo se compensan sobradamente.
- Los tractores ensayados en laboratorios a mayor altura sobre el nivel del mar estarían penalizados, ya que en los ensayos OCDE no se corrigen las prestaciones medidas en función de las condiciones atmosféricas.

En resumen:

- Un ensayo relativamente caro, ya que exige tiempos de ensayo y de rodaje.
- Sólo suministra una información relativa al motor, medida en la toma de fuerza, por lo que suele penalizar a las cajas de cambio de los tractores de elevadas prestaciones.
- La ponderación del consumo medio dependerá de la forma de utilización del tractor y del tipo de transmisión.

A este respecto, las nuevas transmisiones semiautomáticas o automáticas, que gestionan el motor a la vez que cambian de relación de transmisión, o las

CVT/IVT, necesitarían una ponderación diferente que los tractores que disponen de cajas de cambio más simples.

### Una solución de compromiso

Ante estas dificultades, la única alternativa que aparece como viable es la de utilizar las referencias de los consumos a potencia máxima de los motores, según la Directiva 97/68/CE que se utiliza en la homologación de tipo.

Utilizando la información correspondientes a motores actuales, que si instalan en diferentes modelos y marcas de tractores, se ha obtenido el gráfico que se presenta en la Figura 3; en este gráfico se observa que el consumo específico se reduce a medida que aumenta la potencia de los motores, con lo que no parece lógico comparar los consumos específicos de motores de potencias muy diferentes.

Entre las múltiples soluciones posibles, se pueden establecer cuatro niveles de potencia y fijar dos o tres categorías de 'consumo motor' en cada nivel, como aparece en la Figura 4. Como referencias para la separación de categorías en los diferentes rangos se pueden utilizar los calores de consumo específico de 249, 231, 215 y 208 g/kWh,

FIGURA 3.- POTENCIAS MÁXIMAS Y CONSUMOS ESPECÍFICOS DE DIFERENTES MOTORES (DIRECTIVA 97/68/CE)

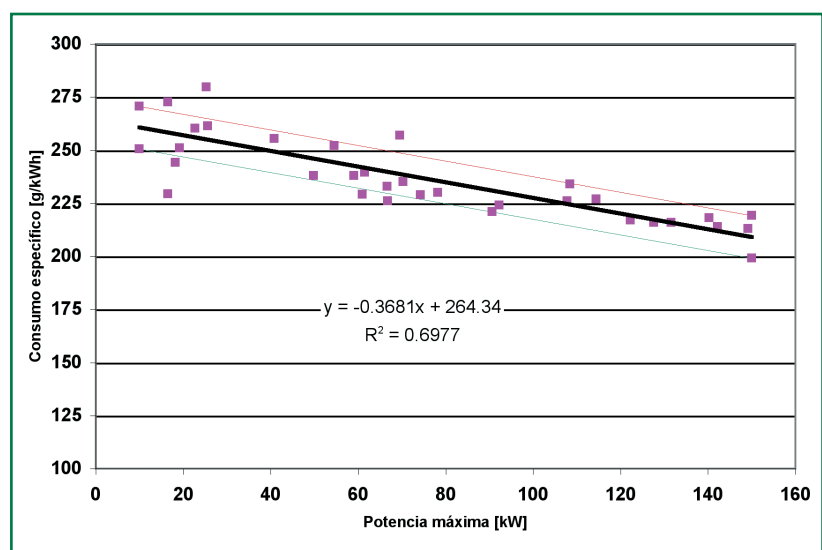


FIGURA 4.- CATEGORÍAS DE 'CONSUMO MOTOR' (g/kWh) PARA DIFERENTES RANGOS DE POTENCIA

	A1	B1	C1	D1
249	A2	B1	C1	D1
231	A3	B2	C1	D1
215	A3	B3	C2	D1
208	A3	B3	C3	D2
	<70 CV	70-120 CV	120-160 CV	>160 CV

Potencia máxima del motor (Directiva 97/68/CE)

que son los valores medios calculados en los intervalos de potencia considerados.

Así, con 220 g/kWh de consumo a potencia máxima se consideraría de alta eficiencia si se trata de un motor de menos de 70 CV de potencia máxima; si el motor proporciona una potencia entre 70 y 120 CV tendría, con el mismo consumo específico, eficiencia media; para más de 120 CV, con este consumo específico, sería de eficiencia baja.

Pero, atención, también se debe de tener en cuenta que si se compra un tractor de elevada potencia con bajo consumo específico, para hacerlo trabajar sistemáticamente con aperos

que demanda baja potencia, el consumo por hectárea trabajada será mayor que si se hubiera adquirido un tractor con menos potencia, aunque dispusiera de un motor más eficiente.

### ■ Las transmisiones

Con el tractor trabajando en campo, el grado de escalonamiento del cambio condiciona la posibilidad de trabajar con el motor a un nivel de carga y un régimen de giro de mínimo consumo. El número de embragues y ruedas dentadas que interviene en la transmisión, el tipo de engranajes y otros aspectos de di-

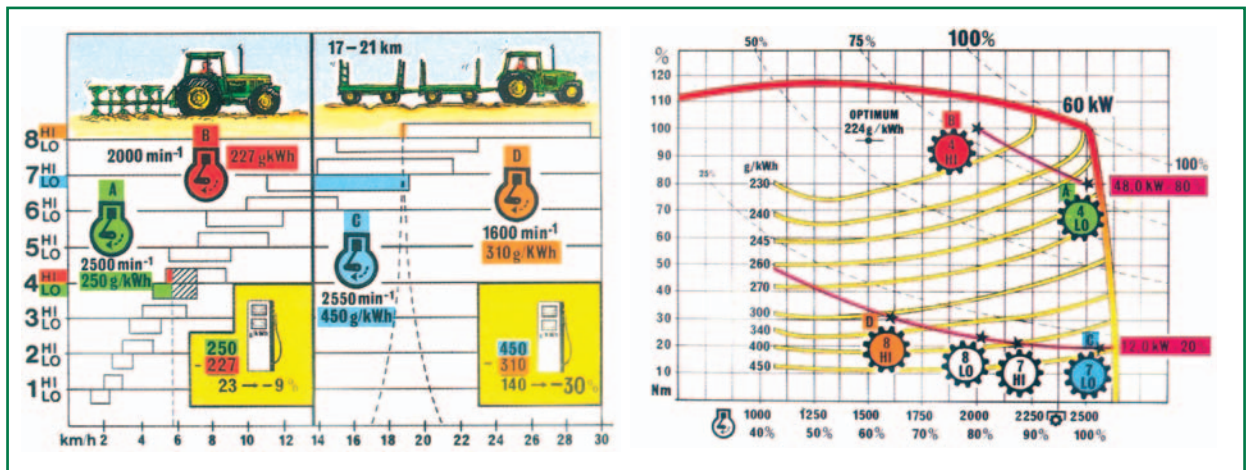
seño de la caja modifican el rendimiento de la transmisión. Para su evaluación se necesitan ensayos en los ejes de las ruedas, que son muy poco frecuentes en los laboratorios de ensayo oficiales; los ensayos de tracción en pista no son equivalentes, por la gran influencia que tienen los neumáticos en las prestaciones del tractor.

En suelos en los que las condiciones de resistencia varían bruscamente, o hay cambios de pendiente del terreno, conviene que el escalonamiento del cambio vaya unido al paso en carga entre bloques de relaciones (2, 3, 4, 5 ó 6). En algunos casos se ofrece cambios en carga para todas las relaciones (*full powershift*). Esto permite reducir considerablemente el consumo respecto a una transmisión convencional, aunque ésta tenga algunas relaciones del cambio sincronizadas; la sincronización solo es útil en operaciones de transporte, ya que al igual que sucede con los automóviles, la inercia del vehículo lo mantiene en movimiento mientras se cambia de relación de transmisión; simultáneamente, al utilizar una marcha más corta, hay que incrementar el régimen del motor para mantener constante la velocidad de avance.

Con el cambio en carga, se puede pasar de una a otra rela-



FIGURA 5.- EFECTO SOBRE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN CAMBIO EN CARGA CONVENIENTEMENTE ESCALONADO



ción sin dejar de transmitir potencia (par motor); también es necesario acelerar el motor al utilizar una relación del cambio más corta para que la velocidad de avance se mantenga. Al utilizar una marcha más larga, por el contrario, se necesita reducir el régimen del motor.

En la Figura 5 se representa el caso de un tractor arrastrando un arado, lo que puede hacerse utilizando la relación 4 HI y 4 LO, con el régimen del motor, respectivamente, de 2 000 y de 2 500 rev/min, lo que permite reducir el consumo de combustible (reducción del 9% en el

ejemplo). En consecuencia, con una caja de cambios bien escalonada siempre se podrá utilizar la relación que mejor conviene para reducir el consumo. Si, además, es posible cambiar de una marcha a otra manteniendo la transmisión de potencia (cambio en carga), la transmisión sería energéticamente mejor. Sin embargo, en un suelo homogéneo y llano esta ventaja no sería significativa, ya que una transmisión más sencilla daría semejantes niveles de consumo.

No hay un procedimiento normalizado que permita realizar ensayos para comparar las ven-

tajas de los cambios en carga frente a las variaciones de carga que impone el trabajo agrícola (los ensayos de tracción en pista se realizan con cargas estabilizadas).

Si las variaciones de la carga en condiciones normales de trabajo superan lo que podría ofrecer el motor con una buena reserva de par, se necesita cambiar de marcha sin detenerse (cambio en carga). Esto lo puede hacer un conductor bien preparado, pero requiere atención a la conducción, algo que no se necesita si se dispone de un cambio automático o semiautomático.

En el caso de las transmisiones automáticas, o con cambios sin escalones, este proceso de ajuste se realiza de manera automática, dependiendo de la estrategia de gestión seleccionada, de manera que si las condiciones son favorables, el motor puede funcionar permanentemente en las zonas de mínimo consumo específico.

En la Figura 6a se presenta el caso de uno de los primeros sistemas de información dirigido a orientar al conductor para minimizar el consumo de combustible (Steyr-Infomat). En el tablero aparece un panel en el que se recomienda utilizar una relación del cambio más corta o más larga de la que está engranda, a la vez que la conveniencia de ace-

FIGURA 6B.- INFORMACIÓN PARA SELECCIONAR LA RELACIÓN DEL CAMBIO MÁS APROPIADA (STEYR)

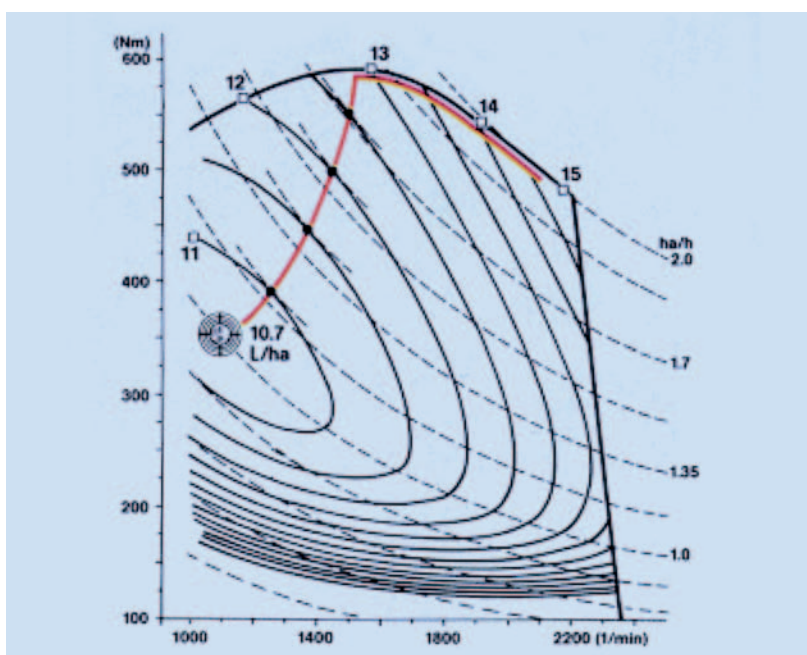
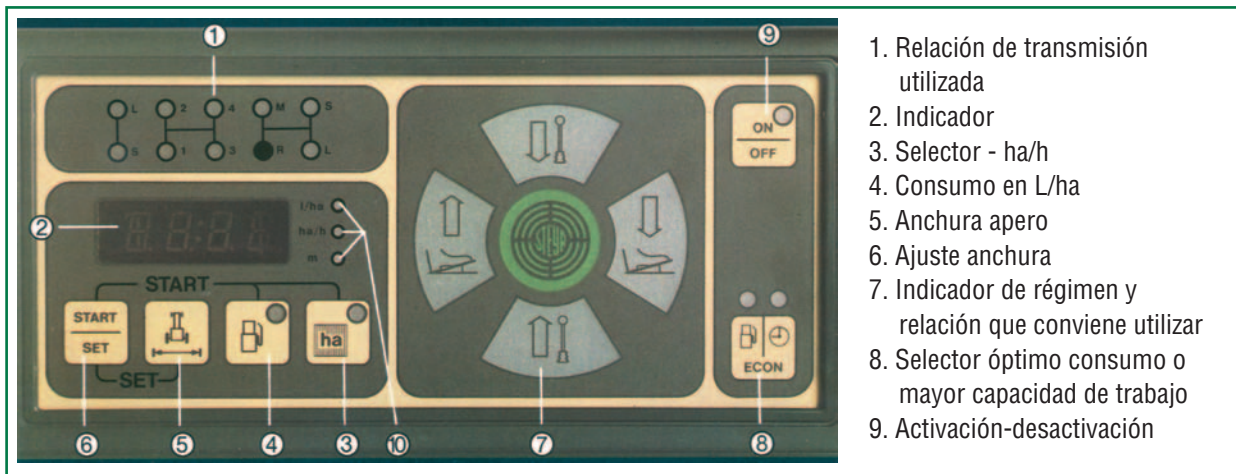


FIGURA 6A.- MONITOR STEYR-INFOMAT



1. Relación de transmisión utilizada
2. Indicador
3. Selector - ha/h
4. Consumo en L/ha
5. Anchura apero
6. Ajuste anchura
7. Indicador de régimen y relación que conviene utilizar
8. Selector óptimo consumo o mayor capacidad de trabajo
9. Activación-desactivación

FIGURA 7.- 'ECOCONTROL' DE RENAULT



lerar o reducir el régimen del motor. Cuando las condiciones son las óptimas, aparece resalta una luz central de color verde.

Simultáneamente ofrece información sobre la relación de cambio que está engranada, así como del consumo en L/ha y de la capacidad de trabajo en ha/h. Previamente el conductor debe de introducir la información sobre la anchura del apero que se utiliza. También puede elegir entre llevar el tractor para conseguir el mínimo consumo por ha, o bien alcanzar la mayor capacidad de trabajo (lo que elevaría el consumo) con la tecla 'econ'.

Las referencias en las que se apoya esta información parten de relacionar las curvas de iso-consumo del motor (obtenidas por el propio fabricante) con la capacidad de trabajo en ha/h (Figura 6b).

Una alternativa más sencilla, basada en relacionar la eficiencia del conjunto motor transmisión con el régimen del motor y la temperatura de los gases de escape (equivalente al nivel de carga y relacionada con el consu-

mo) la utilizó Renault con su 'ecocontrol', basado en dos agujas que se cruzaban, de manera que si se mantiene en la zona verde (Figura 7) se optimiza el consumo de combustible.

Estos sistemas han dado paso a los cambios automáticos actuales, en algunas o en todas las relaciones del cambio, de manera que el conductor no tiene que intervenir, ya que automáticamente se selecciona la relación del cambio más apropiada, junto con el régimen del motor aconsejable.

Junto a esta posibilidad de automatizar el cambio de escalón, cada vez se ofrecen con más frecuencia los cambios sin

escalones, en los que se logra una automatización completa del conjunto motor transmisión para reducir el consumo, a la vez que se incrementa la productividad, utilizando diferentes estrategias de gestión. En la Figura 8 se presenta la que se utiliza en los modelos Deutz Agrottron de tipo TTV. Con bajo nivel de carga la relación de transmisión se mantiene fija, y es la inyección al motor la que actúa para aumentar el par motor cuando el trabajo lo demanda, manteniendo el régimen de funcionamiento en una zona en la que el consumo específico es bajo. Si el nivel de carga supera un determinado valor, el motor se acelera por si solo, a la vez que en la transmisión se pro-

FIGURA 8.- AJUSTE EN FUNCIÓN DE LA CARGA EN UN CAMBIO CVT (DEUTZ-AGROTRON CON ESTRATEGIA ECO 670)

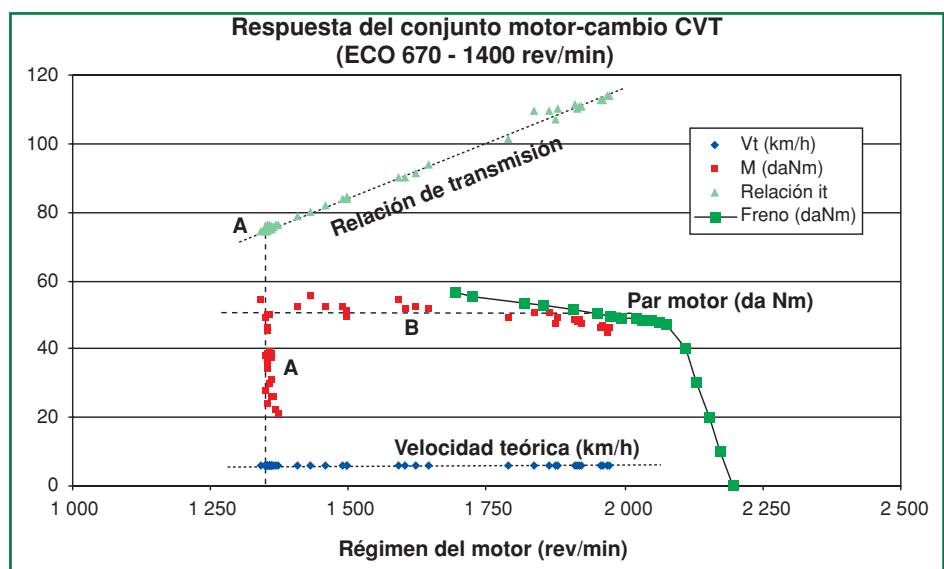


TABLA 1.- DIFERENCIAS EN EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE SEGÚN EL TIPO DE TRANSMISIÓN

Nivel de carga (tipo de aplicación)	Mejora en los 8030 APS frente a los 8030 IVT
15-35% (Trabajo ligero-transporte)	5-10%
65-75% (Trabajo pesado)	3-5%
80-90% (Muy pesado-subsolado)	0-3%

NOTA: Los tractores Powershift utilizados dispone de sistema APS; los del tipo IVT se utilizan en modos 'automáticos'.

duce una modificación en el régimen de giro de salida (cambiando la relación de transmisión) para compensar el aumento de régimen del motor, de manera que se mantenga la velocidad de avance del tractor hasta que la potencia del motor lo permita.

Desde el punto de vista del usuario que desea reducir el consumo de combustible en las operaciones, y puede elegir entre un tractor con una caja de cambios bien escalonada, con cambio en carga, y una transmisión tipo CVT/IVT, la comparación hay que hacerla en función del tipo de trabajo que realiza. Así, tomando como referencia una de la más reciente serie de tractores presentada por John Deere (JD 8030), este fabricante, a partir de la información obtenida en los ensayos que ha realizado antes de poner el modelo

de tractor en el mercado, ofrece los resultados de la Tabla 1.

Lo que pone de manifiesto que la evaluación energética de

Transmisión	Puntuación
Cambio sin escalones CVT/IVT, o 'full powershift' automático	3
Cambio en carga con 3 o más relaciones semiautomático	2
Cambio sincronizado con 2 relaciones en carga	1

una transmisión depende de las condiciones de operación y el tipo de trabajo que se encomienda al tractor, con independencia que pueda ser más o menos cómodo de conducir, o se adapte mejor al nivel de cualificación del usuario.

El caso límite sería el de un tractor con una transmisión simple, con sólo las relaciones del cambio apropiadas para el tipo de trabajo que necesita el usuario. Así, un conductor bien prepa-

rado, utilizando el cambio en carga, consigue el máximo aprovechamiento del combustible si está dispuesto a mantener continuamente la atención en la conducción, como si estuviera participando en una competición: ¿es esto posible?

Unas referencias prácticas para realizar la clasificación energética de las transmisiones, desde la perspectiva de un usuario de tipo medio, que necesita un tractor polivalente, pueden ser las siguientes:

El tipo de valoración se basa en la facilidad que ofrece la transmisión para adaptarse al trabajo buscando el punto de funcionamiento del motor con más bajo consumo específico.

En relación con el tipo de transmisión, conviene hacer un cometario adicional. En muchos modelos de tractores en el mercado es posible elegir entre varios tipos de transmisiones (diferentes versiones del modelo considerado), por lo que el comprador puede personalizar su tractor conforma a sus necesidades, con eficiencia energética diferente en función de la transmisión elegida.

Después de esta valoración, unida a la que anteriormente se hizo para los motores, que en su conjunto caracterizan aspectos 'internos' de los tractores, todavía quedan otras, como las relativas al sistema hidráulico, a determinados elementos auxiliares, como suspensiones o tomas de fuerza, sistemas de gestión electrónica, y sobre todo neumáticos, que pueden tener sobre el consumo de combustible una influencia superior a la de los motores y las transmisiones. Todas ellas serán analizadas en una próxima ocasión. ■

