

# LUCES Y SOMBRAS DE LAS TRANSMISIONES CVT



**Ahora, la moda de las transmisiones sin escalones, o CVT, parece que se apodera de los agricultores europeos, pero ¿son estas transmisiones verdaderamente necesarias?, ¿no estarán complicando innecesariamente una herramienta de trabajo en campo como es el tractor agrícola? En las líneas que siguen a continuación se realiza un análisis crítico de sus posibilidades frente a otras alternativas menos sofisticadas y más experimentadas en el transcurso del tiempo.**

**D**esde los comienzos, en el diseño de los tractores agrícolas se ha buscado la polivalencia, dada la diversidad de circunstancias y condiciones de trabajo que aparecen en la agricultura.

En el uso diario se necesita suministrar esfuerzos de tracción variables, dependientes de las condiciones de la labor, pero manteniendo un rango de velocidades bastante estrecho. Expresando esto con un ejemplo, se puede decir que al utilizar un arado de vertedera la velocidad de trabajo no podría ser de 15 ó de 20 km/h, aunque dispusiéramos de potencia suficiente para hacerlo.

En consecuencia, para poder utilizar la potencia disponible en el motor se necesita una caja de cambio apropiada, con escalonamientos adecuados para las distintas labores que se van a realizar. Un tractor que se vaya a utilizar sólo para arar, o para aplicar fitosanitarios, podría montar una caja de cambios mucho más sencilla que un tractor polivalente, con la consiguiente reducción del coste de producción.

Por otra parte, la capacidad de tracción, el esfuerzo que realiza el tractor, depende de la masa del mismo, o lo que es igual, para trabajar a baja velocidad utilizando toda la po-

tencia disponible en el motor se necesita complementar la masa del tractor con lastre, no basta con disponer de mucha potencia en el motor.

Estas leyes físicas inviolables han obligado a los diseñadores a buscar soluciones prácticas, combinando masas de lastres y neumáticos adecuados, pero, sobre todo, cajas de cambio que dispongan de escalonamientos que permitan utilizar la potencia disponible en el motor a distintas velocidades de avance, aunque también, progresivamente, se ha procurado buscar un motor más flexible, apropiado para las exigencias del trabajo agrícola.

## UN MOTOR PARA EL USO AGRÍCOLA

A muchos les puede sorprender que los motores para los tractores se separen considerablemente en sus características de los que se utilizan en automoción, o incluso de los vehículos industriales.

Con independencia de la mayor robustez que exige un trabajo continuo y en condiciones ambientales desfavorables, el motor del tractor ha dispuesto tradicionalmente de un regulador multi-régimen, que hace posible ajustar su velocidad de giro en función del tipo de trabajo que realiza. Esto permite, sin la intervención continua del conductor (acelerador de mano), modificar la inyección para que el par motor suministrado se ajuste a las resistencias que oponen el trabajo de los aperos y máquinas agrícolas.

Lamentablemente, existen muchos usuarios que prefieren utilizar el acelerador de pie y controlar directamente la inyección; es una opción libre con la que se desperdicia uno de los dispositivos automáticos más fiables para facilitar la conducción y reducir el consumo de combustible.

La combinación del sistema de regulación del régimen de giro mediante el control automático de la inyección de los motores, junto con una caja de cambios bien escalonada, permite conseguir las mejores prestaciones en los trabajos agrícolas, siempre que los esfuerzos que demanda el trabajo no

superen lo que ofrece el motor mediante modificación de la inyección.

Sin embargo, si el esfuerzo sobrepasa este nivel, el motor responde en 'sobrecarga': aumenta el esfuerzo que puede realizar (reserva de par), a costa de reducir considerablemente su velocidad de giro, y, lo que es lo mismo, pierde potencia (producto de la fuerza por velocidad).

“ **La gestión electrónica del motor permite utilizar cajas de cambio con menos escalones** ”

Ante esta dificultad, caben dos alternativas: o diseñar un motor diferente, sobre la base de modificar la presión de soplado del 'turbo' y simultáneamente la inyección de combustible en la zona de sobrecarga, lo que deriva a los denominados motores de 'potencia constante', tan frecuentes en los tractores modernos de mediana y elevada potencia; o bien buscar una caja de cambios con diversos grados de automatización para poder mantener el motor en el régimen de giro y

nivel de carga que conviene, bien por capacidad de trabajo, bien para la mejor eficiencia energética.

## DEL CAMBIO SINCRONIZADO AL CAMBIO EN CARGA

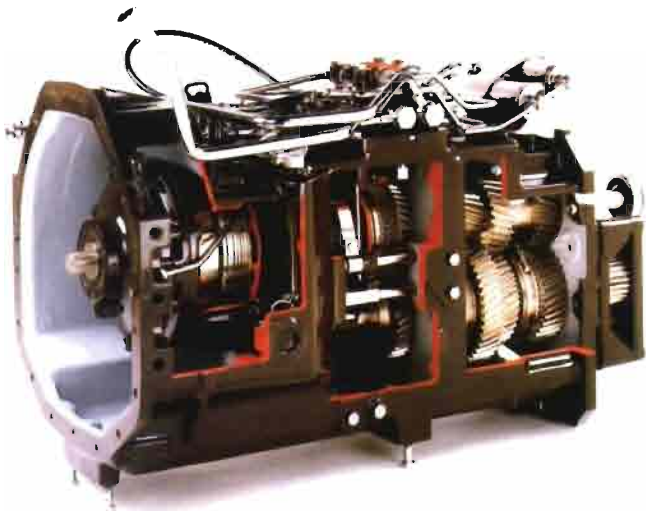
En las primeras cajas de cambio de los tractores agrícolas se utilizaban engranajes rectos deslizantes, que exigían detenerse para pasar de una relación a otra, lo cual siempre era posible, ya que las elevadas reducciones utilizadas en los tractores han permitido el arranque incluso con las relaciones del cambio más largas.

Sin embargo, buscando productividad, esta opción no es válida, por lo que, al igual que en los automóviles, se buscaron soluciones para pasar de una marcha a otra sin tener que detenerse, lo cual ha resultado bastante más complicado, ya que los pares transmitidos son mucho más elevados, puesto que siempre se trabaja a velocidades lentas.

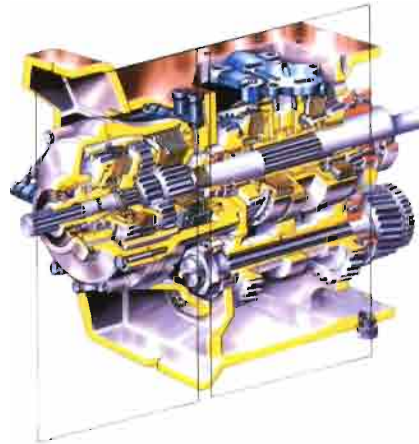
Analizando las soluciones adoptadas por la industria a lo largo del tiempo se pueden fijar dos caminos que a la larga han confluído. Por una parte, especialmente en el área europea, en el que el transporte con tractor siempre ha tenido importancia, se desarrollaron sistemas de sincronización, para lo cual se eligieron los conjuntos de la caja de cambio más cercanos al motor, que al trabajar más rápido y transmitir menos par resultaban más fácil-







Cambio en carga de 4 velocidades



mente sincronizables. Sin embargo, esta solución, muy apropiada para un vehículo de carretera, ya que la inercia lo mantiene en movimiento al pasar de una marcha a la siguiente, no lo es tanto en el tractor agrícola, salvo si se utiliza en transporte, ya que trabajando con un apero, la interrupción de la transmisión de potencia hace que éste se quede clavado y el tractor se detenga.

En el área americana, donde el transporte con tractor se limita notablemente, la evolución de la caja se hizo en el sentido de los 'cambios en carga', que permiten el paso de una relación a otra sin interrumpir la transmisión de potencia entre el motor y las ruedas, mucho más apropiadas para el trabajo en campo que las cajas sincronizadas.

Esto, que en los comienzos se introdujo de manera 'tímida', ya que se limitaba a un solo conjunto situado por delante de la caja tradicional, que permitía multiplicar por dos las rela-

ciones disponibles (HI-LO, alta-baja), progresivamente fue adueñándose de la caja hasta llegar a las actuales *PowerShift*, con todas las relaciones admitiendo el cambio en carga, gracias a los avances tecnológicos alcanzados en los sistemas electrohidráulicos.

## DE MÚLTIPLES ESCALONES A SIN ESCALONES

En la última década las cajas de cambio de los tractores agrícolas han llegado a ofrecer hasta 100 relaciones diferentes, la mayoría con elementos de sincronización o para cambio en carga, utilizándose este aspecto como argumento comercial de primera magnitud.

Cuando se analizan los escalonamientos que cada relación del cambio

ofrecía, por la propia estructura de la caja, formada por varios grupos en serie —principal, gamas, reductoras, etc.— se observa que entre algunos de ellos no había diferencias significativas, a la vez que ha sido necesaria la intervención sobre tres palancas, o más, para llegar a la relación que interesa.

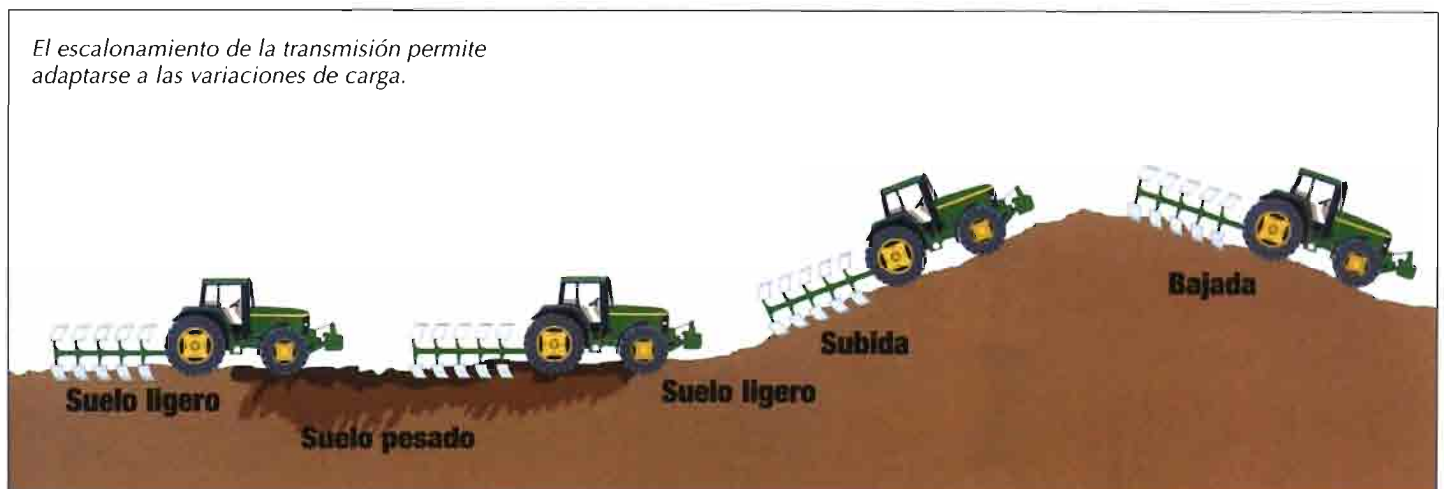
La combinación de la electrónica con la hidráulica ha permitido racionalizar el cambio, simplificando la selección de las marchas

por parte del conductor, a la vez que bloquear las relaciones que podrían estar duplicadas, o cuando se alcanzan condiciones que no son admisibles por las limitaciones normativas (velocidad máxima de circulación), o por inducir tensiones que podrían afectar a la fiabilidad del producto.

Pero el mercado exige cada día más, y desde hace muchos años se ofrece el cambio continuo, o sin escalones, mediante las transmisiones hidrostáticas, aunque también con los convertidores de par, sin éxito comercial en el campo agrícola, al menos por el momento.

Cuando se revisan trabajos antiguos de investigación siempre aparecen los tractores con transmisiones mecánico-hidrostáticas, similares a las que ahora se utilizan en las cosechado-

El escalonamiento de la transmisión permite adaptarse a las variaciones de carga.



ras, que no se difundieron comercialmente por diferentes razones; la primera, la baja eficiencia en la transmisión de la potencia (mayores pérdidas en la transmisión) que en una caja mecánica convencional, pero sobre todo por falta de puesta a punto de la tecnología hidráulica para su manejo en zonas rurales, polvorizadas y con unas posibilidades de mantenimiento y reparación limitadas en comparación con lo que ofrece una caja mecánica convencional.

Sin embargo, la mejora en el conocimiento de la tecnología hidráulica en combinación con la electrónica ha permitido sacar de los archivos opciones estudiadas teóricamente en la década de los '60, que son las ahora conocidas como transmisiones CVT, o con divisor de par, en las que una parte de la potencia se transmite de forma mecánica, mientras que la otra en forma hidráulica, a la vez que la relación de transmisión se ajusta de manera continua en función de lo que demanda la labor

Indiscutiblemente, la comodidad de manejo aumenta, la adaptación a la labor es precisa, el motor se puede hacer funcionar en el régimen óptimo en cada caso; todo parecen ventajas..., pero, ¿habrá inconvenientes?

Indiscutiblemente, la tecnología de alto nivel requiere mantenimiento apropiado; el usuario, y especialmente los talleres, necesitan un nivel de cualificación que no está disponible en muchas zonas agrícolas, incluso en países más desarrollados.

Hay un dato curioso: parece que es Centro-Europa, liderada por Alemania, la que marca este camino, mientras que en EEUU se ofrecen soluciones alternativas, como el cambio en carga equipado con una electrónica apropiada, que controla asimismo el motor del tipo 'potencia constante'; ¿quién tiene la razón y cuál puede ser la solución más ventajosa para un tipo de agricultura como la española que se acerca más a la americana de las zonas semiáridas que a la centroeuropea?

### ■ ALTERNATIVAS CVT

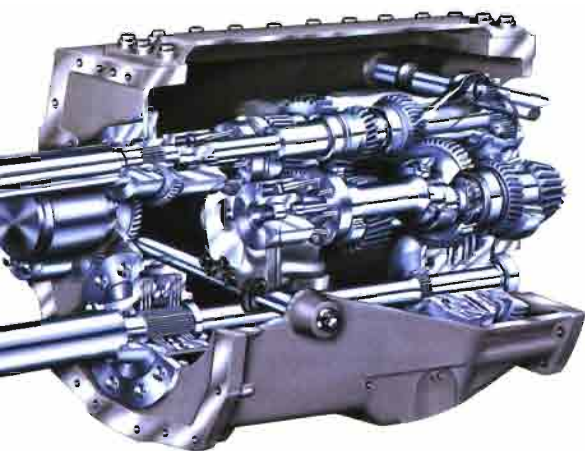
Si han seguido desde **agrotécnica** los artículos publicados por la profesora Pilar Linares relacionados con las transmisiones de los tractores habrán podido observar que hay dos sistemas diferentes de transmisión CVT, que se pueden definir como de 'planetario divisor' y 'planetario sumador'. La pri-

mera de ellas utilizada por los tractores Fendt Vario y la segunda utilizada por Steyr, y también por ZF para construir cajas que montan algunos fabricantes como Deutz-Fahr y John Deere, aunque este último, más recientemente, haya introducido en la suya propia, una variante más simplificada respecto al modelo 'europeo'. A este respecto hay que recordar que los primeros trabajos publicados sobre este tipo de transmisiones son del ya lejano 1968 y fueron realizados por un ingeniero de John Deere, aunque en ese momento no se pensó como una solución aplicable a las transmisiones de los grandes tractores.

#### CAJAS CVT CON PLANETARIO DIVISOR

En las transmisiones con planetario divisor, el conjunto de engranajes planetarios se encuentra en el eje de entrada de la potencia transmitida desde el motor, y de este sistema planetario salen dos líneas de potencia, una mecánica y otra hidráulica, que se juntan en el eje de salida de la caja camino de las ruedas.

En la rama hidráulica, como en cualquier transmisión hidrostática habrá una unidad impulsora y otra recep-



Transmisión CVT de planetario divisor (Fendt).

TABLA 1.- FENDT FAVORIT 926 VARIO  
REF. ENSAYO OCDE 1697

	sin lastre	con lastre			
Masa (kg)	8 289	12 440			
ENSAYO TOMA DE FUERZA PRINCIPAL					
	kW	rev/min	g/kWh		
Pot. máxima	174.8	2 050	231		
Pot. nominal	167.5	2 250	236		
ENSAYO DE POTENCIA A LA BARRA EN PISTA DE HORMIGÓN					
Selector I	velocidad km/h	potencia kW	reg. motor rev/min	patinamiento %	cons. esp. g/kWh
con lastre	8.21	143.9	2 048	5.8	284
	9.29	144.2	2 052	5.0	283
	10.8	145.6	2 050	4.2	282
sin lastre	7.42	146.5	2 056	5.2	278



**TABLA 2.- NEW HOLLAND 8970 POWERSHIFT MFWD  
REF. ENSAYO OCDE 1646**

	sin lastre	con lastre
<b>Masa (kg)</b>	8 902	12 519

**ENSAYO TOMA DE FUERZA PRINCIPAL**

	kW	rev/min	g/kWh
Pot. máxima	167.5	1 824	223
Pot. nominal	158.4	2 100	236

**ENSAYO DE POTENCIA A LA BARRA EN PISTA DE HORMIGÓN**

	velocidad km/h	potencia kW	reg. motor rev/min	patinamiento %	cons. esp. g/kWh
<b>con lastre</b>					
F8	7.46	148.6	1 825	2.5	259
F9	8.77	149.5	1 824	2.0	257
F10	10.32	146.5	1 825	1.5	263
<b>sin lastre</b>					
F9	8.67	150.7	1 826	3.9	257

tora del fluido que se encarga de transmitir la potencia (bomba y motor que pueden intercambiar sus funciones), al menos una de ellas de cilindrada variable, lo que permite ajustar la velocidad del eje de salida al tipo de trabajo que efectúa el tractor, manteniendo constante el régimen del motor, aunque a costa de unas pérdidas energéticas superiores que las que se obtienen en una transmisión mecánica pura, que aumentan a medida que la potencia transmitida como 'hidráulica' es mayor, lo que sucede cuando se pretende trabajar más despacio, algo habitual en las labores agrícolas que demandan más potencia, como la arada.

Para mejorar el rendimiento energético del conjunto se utiliza una caja en serie, de dos escalones, colocada entre el motor y el planetario divisor, que permite dos rangos de variación de las velocidades de avance: (0 a 32 y 0 a 40 km/h en Fendt Favorit 926 Vario).

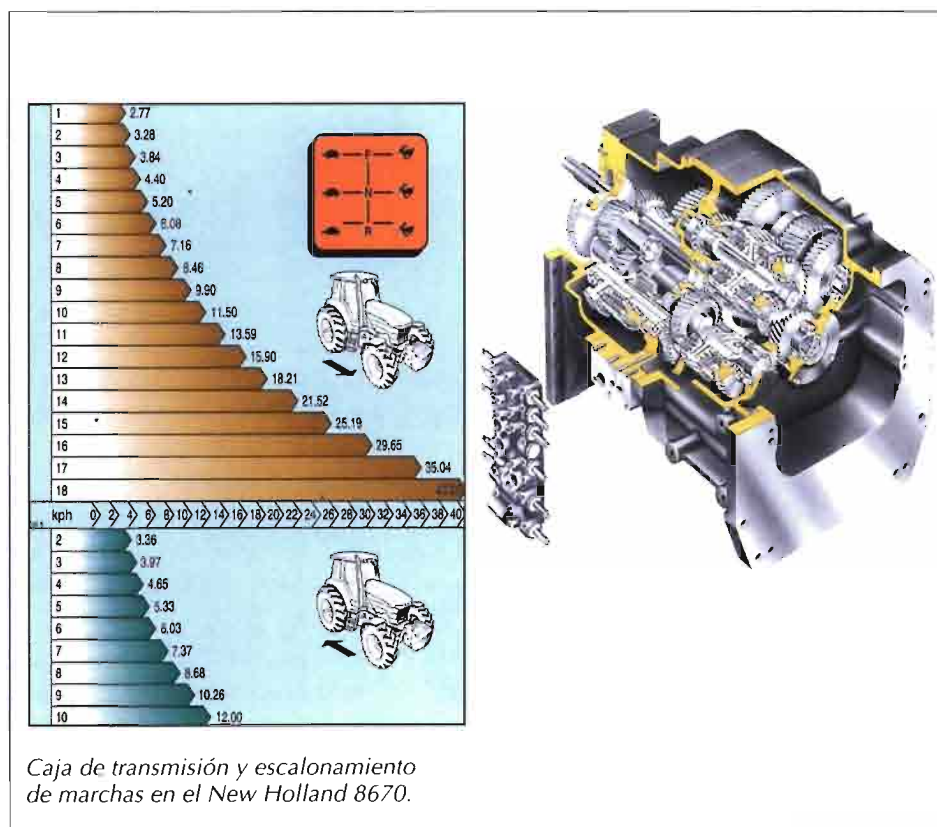
Para cuantificar esta menor eficiencia energética de la transmisión se pueden utilizar los datos del ensayo del tractor Fendt Favorit 926 Vario, realizados por la OCDE (boletín n° 1676), en comparación con un tractor

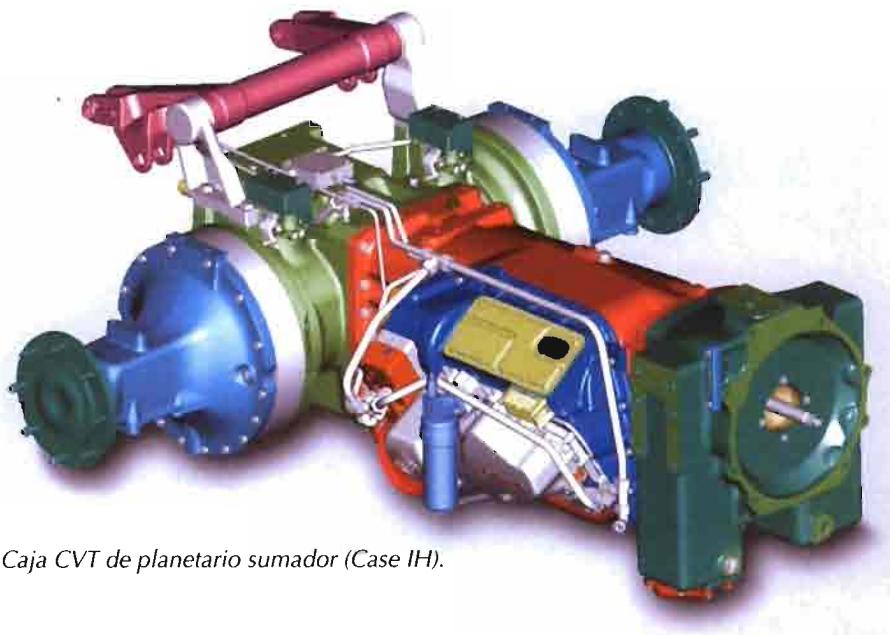
equipado con caja *PowerShift*, como el New Holland 8970 MFWD-30 km/h (boletín OCDE n° 1626).

En las tablas adjuntas se puede observar que en dos tractores con masa similar (con y sin lastre) a pesar de que en el ensayo a la toma de fuerza principal uno de ellos, el Fendt, sumi-

nistra una potencia máxima de 174.8 kW frente a los 167.5 del New Holland, en potencia a la barra, o sea para trabajos de tracción, el New Holland supera al Fendt, con 150.7 kW frente a 146.5, a velocidad de avance similar. Aunque el deslizamiento del New Holland durante el ensayo es ligeramente menor (3.6% frente al 5.2, considerando los tractores sin lastre), queda claro que la transmisión del New Holland es más eficiente desde el punto de vista energético, ya que se observa que el ensayo en ambos casos se realiza con el motor a régimen de potencia máxima (1 826 y 2 056 rev/min).

En conclusión, la potencia a la barra del Fendt es sólo del 83.8% de la máxima en el motor, mientras que en el New Holland se llega al 90% de ésta. Se podrá argumentar que el usuario no utiliza el tractor de esta manera, que a cargas parciales las cosas pueden cambiar, compensando con una mejor adaptación del conjunto motor/transmisión a lo que cada trabajo necesita, especialmente con el transporte, pero los números procedentes de los ensayos oficiales indican que... se está perdiendo un 7% más de la potencia en la caja CVT con planetario divisor que en la *PowerShift*.





Caja CVT de planetario sumador (Case IH).

#### CAJAS CVT CON PLANETARIO SUMADOR

Como alternativa a las cajas de cambio con planetario divisor, las cajas con planetario sumador, como la S-Matic de Case/Steयर, utilizan una combinación de transmisión hidráulica con otra mecánica de engranajes planetarios situada a la salida en dirección a las ruedas, que proporciona cuatro etapas o escalones, lo que permite reducir el porcentaje de potencia transmitida en forma hidrostática, y

**“El punto crítico se produce a 8 km/h en el que cambian los papeles de las unidades hidráulicas”**

produce una mejora de la eficiencia de la transmisión a costa de incrementar la complejidad de la caja en su conjunto.

En esta opción, el punto de ‘bloqueo’ (toda la potencia se transmite de manera mecánica) proporciona una relación de transmisión de 0.75, pudiendo trabajar el conjunto dando valores de relación de transmisión por encima y por debajo de este valor; a medida que se aleja la relación de transmisión de la de bloqueo, la eficiencia de la caja de cambios se reduce. Así, entre 4 y 8 km/h, en la gama 1, se consigue que menos del 50% de la potencia se transmita hidros-

táticamente, valores inferiores a los de las cajas de planetario divisor.

El punto crítico de esta caja de cambios se produce al pasar de la gama 1 a la 2, lo cual sucede cuando se alcanza una velocidad ligeramente superior de 8 km/h; al superar esta velocidad cambian los papeles de las unidades hidráulicas, con lo que la que funcionaba como bomba se convierte en motor y se tiene que hablar de potencia ‘regenerativa’. Esto en términos prácticos significa que en el interior de la caja circula más potencia de la que entra y sale, aumentando las tensiones internas. Se puede explicar este comportamiento asimilándolo, en cierto modo, a una caja de cambio en la que un par de engranajes reduce la velocidad y el siguiente la aumenta un poco con el fin de que la relación de salida sea la que interesa, pero conseguido con una recirculación interna de la potencia en forma hidráulica, lo que exige un cuidadoso diseño y fabricación de la caja para garantizar la fiabilidad

Para conseguir que el usuario pueda trabajar sin apreciar los cambios que se producen en la caja, algunos fabricantes combinan su control con el de la inyección electrónica de los motores, suministrando potencia extra en los momentos críticos.

Por otra parte, esta transmisión está estudiada para que, a alta velocidad de avance, el motor pueda bajar el régimen de funcionamiento, con lo cual se reduce el consumo en el momento que la demanda de potencia es menor, como sucede en las operaciones de transporte. Esto es especialmente ventajoso en los países en los que se admite la circulación de tractores con remolque a 40 y 50 km/h.

En consecuencia, más comodidad y confort, ventajas claras, aunque con un sobrecoste en el equipo, cuando predominan las operaciones ligeras y con equipos accionados a la toma de fuerza, pero no tanto para trabajos tradicionales que demandan elevada potencia de tracción con aperos de trabajo del suelo en velocidades lentas.



Detalle de un sincronizador.



## LAS COMPARATIVAS EN EL CAMPO

Hasta ahora, todas las experiencias realizadas para poner de manifiesto las ventajas de los sistemas CVT en comparación con otros tipos de caja de cambio se han realizado aplicando conceptos de trabajo que se utilizan en la agricultura centroeuropea, en las que se busca un tractor integrado en un 'sistema', en el que los cereales y los forrajes, la patata y la remolacha, la distribución de estiércol líquido y el transporte constituyen los puntos fuertes comunes a la mayoría de las explotaciones, y para lo que necesitan equipos accionados por la toma de fuerza; son circunstancias similares a las que se encuentran en máquinas de recolección, como las cosechadoras de cereales: se pone el motor a régimen nominal para que todos los conjuntos funcionen correctamente y se actúa sobre el variador de velocidad para conseguir que la máquina avance a la velocidad que conviene.

Por otra parte, los modelos que se comparan no son similares, ya que en los que incluyen cambios CVT también se aumentan las especificaciones de los elementos complementarios, como sistema hidráulico, control del motor, suspensión de cabina y puente delantero, diseño optimizado del puesto de conducción, etc., frente a los que utilizan una transmisión convencional menos sofisticada. Es más, en algunas de estas comparaciones, como la última publicada por la DLG (Asociación Alemana de Agricultura) del CVX 150 frente al CS 150 de Case IH, no se ha tenido en cuenta que el modelo 'convencional' utiliza un cambio en carga de los más sencillos, sin que incluya la electrónica de nueva generación para la gestión del cam-



bio, lo cual aumenta la facilidad de manejo de las cajas convencionales.

En estas condiciones aparece una ventaja en productividad del CVX frente al CS de un 5%, lo cual es interesante, pero hay que insistir que el modelo con cambio continuo evaluado es uno de los más evolucionados, mientras que el otro monta un cambio en carga de diseño antiguo; algo parecido hay que indicar respecto a los motores y a sus sistemas de gestión de la potencia. También, en la comparación efectuada se simula la utilización para la agricultura alemana, en la que la utilización de la toma de fuerza y el

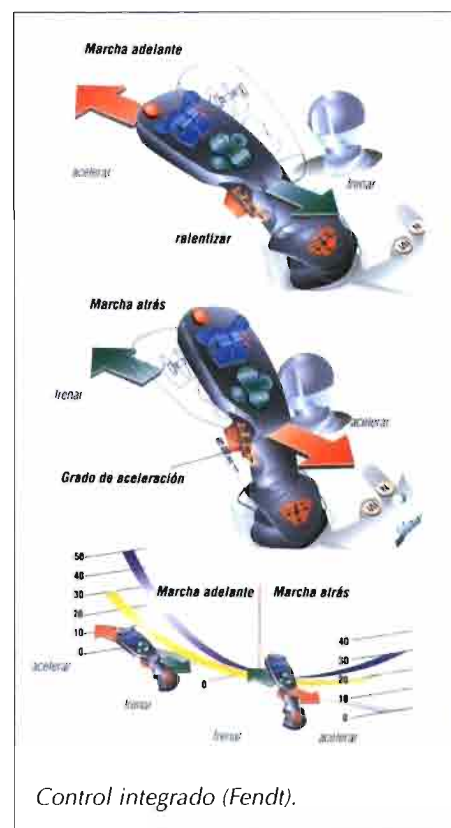
“Las comparaciones publicadas no se han realizado con modelos de características similares”

transporte a alta velocidad son habituales, algo que no es tan frecuente en la agricultura española o italiana, en las que las labores pesadas y a baja velocidad son lo habitual con los tractores grandes.

## EN CONCLUSIÓN

Se puede decir que el cambio sin escalones CVT, tanto del tipo planetario divisor como sumador, resulta:

- Del mayor interés para tractores polyvalentes en los que el componente de trabajo a la toma de fuerza y el transporte a alta velocidad (en los países que está autorizado, que no es el caso de España), especialmente con poca carga, ocupan un porcentaje elevado de los tiempos de utilización.
- No es una opción interesante para tractores que se dedican a un solo ti-



po de labor, especialmente cuando éstas son ligeras, como la aplicación de fitosanitarios o la distribución de abonos minerales.

- Son dudosas sus ventajas para trabajos lentos que demandan elevada potencia, como el laboreo del suelo con aperos de tracción. Un cambio en carga, tipo *PowerShift* con una adecuada gestión electrónica ofrece similares prestaciones y confort para el operador.

En consecuencia, se puede decir que los tractores CVT ofrecen ventajas e inconvenientes y que depende de las necesidades del usuario, del nivel de sobrecoste y de la fiabilidad del producto, su consideración o no como alternativa de compra.

No son ni 'mejores' ni 'peores', pero dependerá de las circunstancias en las que se utilicen para que las ventajas que ofrecen superen a sus inconvenientes. Siempre da satisfacción, como dicen algunos agricultores alemanes, arrancar más rápido con su tractor que el BMW que se encuentra a su lado en la salida de un semáforo, pero no hay que olvidar cuál es la función esencial de un tractor y su vinculación a un sector tan crítico como es el de la Agricultura. ■