

Las cajas de cambio mecánico-hidráulicas

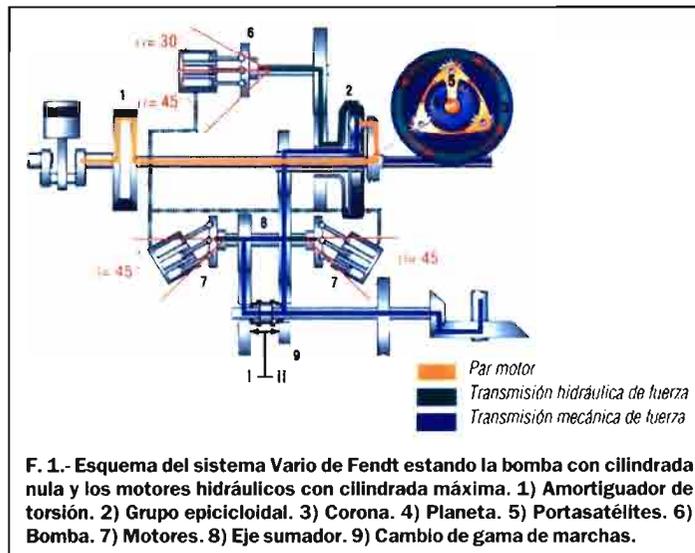
Análisis de los modernos sistemas de transmisión en tractores

Un salto tecnológico está revolucionando la transmisión de energía desde el motor hasta el diferencial. Conceptos tales como embrague o escalonamiento de marchas pueden quedar anticuados.

● **JACINTO GIL SIERRA** Dr. ingeniero agrónomo. Dpto. Ingeniería Rural. Madrid.

Las antiguas y tradicionales transmisiones mecánicas ya estaban superadas por las de cambio bajo carga que permiten pasar de una marcha a otra sin pisar el embrague ni detener momentáneamente el avance. Estas cajas de cambio que, según sus prestaciones, reciben nombres comerciales tales como Hi-Lo, Power Shift o Power Shift Total, incorporan embragues multidisco entre los engranajes y tienen mandos electrohidráulicos o mecánico-hidráulicos.

Las cajas de cambio bajo carga mantienen el concepto tradicional de marcha y escalonamiento de las mismas; su particularidad está en pasar de una marcha a otra sin tener que desembragar y detener el tractor. Esta ventaja se consigue a costa de aumentar un poco las pérdidas de potencia debido al rozamiento entre discos que se produce en los embragues multidiscos de que



F. 1.- Esquema del sistema Vario de Fendt estando la bomba con cilindrada nula y los motores hidráulicos con cilindrada máxima. 1) Amortiguador de torsión. 2) Grupo epicicloidal. 3) Corona. 4) Planeta. 5) Portasatélites. 6) Bomba. 7) Motores. 8) Eje sumador. 9) Cambio de gama de marchas.

van equipadas.

Por otro lado, teníamos las transmisiones hidrostáticas que se instalan en las máquinas de obras públicas y en algunas grandes máquinas agrícolas autopropulsadas (cosechadoras de varios cultivos). Una transmisión hidrostática consta de una bomba reversible de cilindrada variable accionada por el motor del vehículo, y de un motor hidráulico instalado ante el diferencial o en el eje de las ruedas motrices. La bomba reversible de cilindrada variable tiene la capacidad de variar la cantidad de aceite que bombea en cada giro y, además, la tubería de impulsión puede ser una u otra de las dos que salen de la bomba. Esta variación se consigue modificando la inclinación de sus pistones, lo cual se realiza sin detener el giro.

La transmisión hidrostática tiene menor rendimiento que la mecánica (sufre mayores pérdidas de potencia). Otro inconveniente es que, para conseguir velocidades de avance rápidas (40-50 km/h), se necesitaría bombear caudales enormes. Pero tiene algunas ventajas como son:

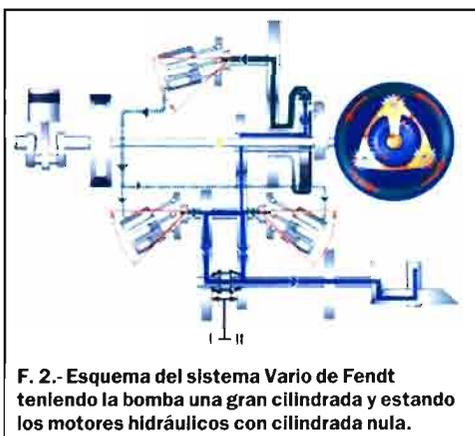
- Para cada velocidad del motor de gasoil se puede conseguir una gama continua de velocidades en las ruedas.

- Se varía la velocidad de avance, incluso se cambia de sentido, modificando la cantidad de aceite que la bomba envía al motor sin necesidad de interrumpir en ningún momento la transmisión.

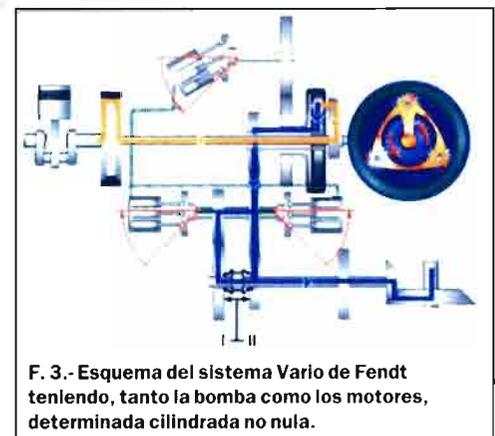
- Las válvulas que protegen de posibles sobrecargas son muy seguras y eficaces.

Como los tractores agrícolas pueden emplearse para trabajos muy variados (grandes esfuerzos de tracción, cesión de energía a través de la toma de fuerza, labores

pesadas avanzando a menos de 1 km/h, desplazarse por carretera a 40 km/h, etc.), la transmisión hidráulica no facilitaría tanta versatilidad.



F. 2.- Esquema del sistema Vario de Fendt teniendo la bomba una gran cilindrada y estando los motores hidráulicos con cilindrada nula.



F. 3.- Esquema del sistema Vario de Fendt teniendo, tanto la bomba como los motores, determinada cilindrada no nula.

Caja mecánico-hidráulica Vario de Fendt

La solución que se empezó a conocer hace dos años, y que el año pasado han desarrollado algunos fabricantes más, es combinar, dentro de la misma caja de cambios, trenes de engranajes y bombas y motores hidráulicos. La idea es que la potencia de entrada se bifurque; una pequeña parte se transmite a través de los elementos hidráulicos y el resto a través de los engranajes. Los elementos hidráulicos permiten conseguir suaves y progresivas variaciones de velocidad (y de par) en el eje de salida sin necesidad de embrague.

La primera caja de cambios mecánico-hidráulica de la que tuvimos amplio conocimiento en España fue la Vario de Fendt, tractores que comercializa en España AGCO, a raíz de su presentación en FIMA 97 instalada en la serie Favorit. Esta transmisión consta de los siguientes elementos:

- Un amortiguador de torsión a la salida del cigüeñal (nótese que no hay embrague).

- La continuación del eje del cigüeñal entra en la caja de cambios y acciona el portasatélites de un grupo de engranajes epicicloidales.

- La corona del grupo epicicloidal acciona, a través de una pareja de engranajes, una bomba reversible de cilindrada variable.

- El planeta del grupo epicicloidal acciona, a través de otra pareja de engranajes, un eje que tiene dos engranajes de diferentes tamaños, los cuales transmiten el movimiento hacia la salida al diferencial.

- En línea con este eje hay dos motores hidráulicos, de cilindrada variable, a los que llega el aceite procedente de la bomba.

El eje en el que están los motores hidráulicos y llega el movimiento desde el planeta del grupo epicicloidal lo llamaremos eje sumador porque en él se agrupa el accionamiento mecánico e hidráulico que se había bifurcado en el grupo epicicloidal.

Se consiguen diferentes velocidades de salida hacia el diferencial para cada velocidad de giro del cigüeñal actuando sobre la bomba y los motores, inclinando los pistones más o menos para variar su cilindrada.

Veamos cómo funciona considerando tres casos extremos:

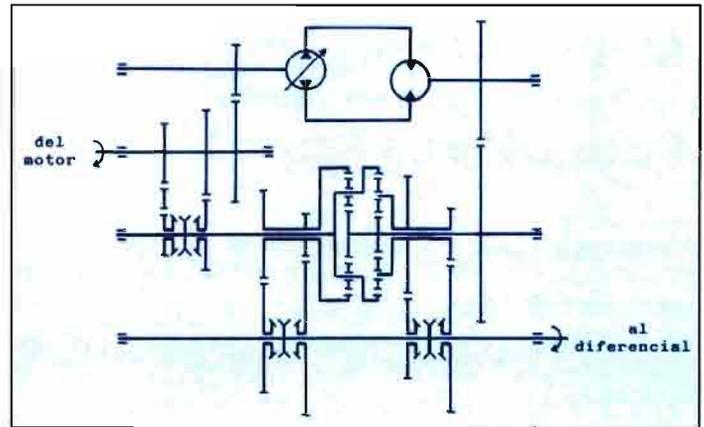
1- La bomba se regula para que tenga cilindrada nula (no

envíe ni una gota de aceite en cada giro) y los motores cilindrada máxima (figura 1).

En este caso, a los motores hidráulicos no llegará ningún caudal de aceite y no girarán, por lo que obligan a que el eje sumador permanezca en reposo y, como consecuencia, no se envía movimiento hacia el cigüeñal y las ruedas. **El tractor está detenido.** El giro del motor, que sigue llegando al grupo epicicloidal a través del portasatélites, sólo consigue que giren los satélites y la corona, pero no el planeta. El movimiento de la corona hace que la bomba gire deprisa, pero, como hemos dicho, por muchas vueltas que de, no sale de ella ningún caudal de aceite.

2- La bomba tiene cualquier cilindrada no nula y los motores cilindrada nula (figura 2).

Si la bomba girase, el aceite por ella impulsado no podría entrar en los motores y salir de ellos, puesto que, si no tienen cilindrada, no pueden recibir ningún caudal de aceite por muchas vueltas que den. Al no poder moverse el aceite en las tuberías, la bomba y, como consecuencia, la corona del grupo epicicloidal permanece en reposo. El giro del motor que llega al portasatélites del grupo epicicloidal sólo provoca el giro de los satélites y del planeta. Este movimiento del planeta lle-



F. 4.- Esquema de los engranajes y elementos hidráulicos presentes en la caja de cambios HM de Claas.

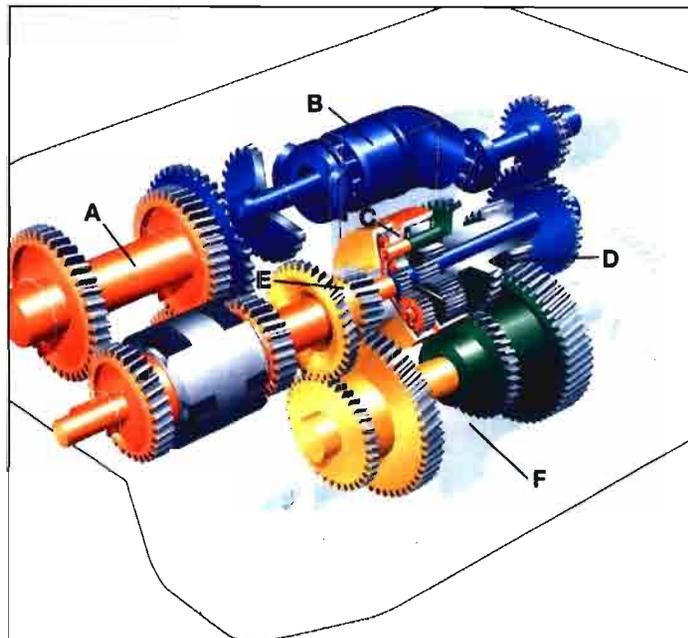
ga al eje sumador (que ahora no suma, pues al no haber movimiento de aceite toda la potencia se transmite de forma mecánica). De ahí sigue hacia la salida al diferencial y provoca el avance del tractor. La caja de cambios se encuentra en esta situación cuando el tractor se dedica al transporte por carretera a gran velocidad.

3- La bomba y los motores tienen cualquier cilindrada no nula (figura 3).

El accionamiento que, desde el motor, llega al portasatélites del grupo epicicloidal hace que giren los satélites, la corona y el planeta, estando estas velocidades de giro en una relación tal que permita la concordancia entre la transmisión hidráulica y la mecánica, como luego veremos. El giro del planeta llega hasta el eje sumador a través de la pareja de engranajes. El giro de la bomba impulsa un caudal de aceite que entra en los motores y

los obliga a girar. La velocidad de giro de los motores, al estar su eje solidariamente unido al eje sumador, tiene que estar en consonancia con el accionamiento que a este eje llega desde el planeta. Por esta razón, **es la cilindrada de la bomba y de los motores** y, como consecuencia, la velocidad de giro de estos últimos, **quien determina** la relación entre el giro de la corona y el planeta del grupo epicicloidal. Regulando esas cilindradas, se hace variar **la velocidad final de salida**. Esta situación de la caja de cambios permite hacer labores pesadas a velocidad lenta.

La inclinación de los pistones de la bomba hacia uno u otro lado (arriba o abajo en la figura 1) es quien determina el sentido de avance, pues al cambiar hacia qué lado se inclina, el aceite cambia de sentido de movimiento en las tuberías que van a los moto-



F. 5.- Interior de la caja de cambios HM de Claas. A) Eje de entrada. B) Grupo bomba-motor hidráulico. C) Grupos epicicloidales. D) Engranaje que transmite las gamas lentas al eje de salida. E) Engranaje que transmite las gamas rápidas al eje de salida. F) Eje de salida.

res, haciendo que se invierta su sentido de giro y, por tanto, el del eje sumador.

Con las dos marchas se consigue una gama continua de velocidades desde 0 hasta 32 ó hasta 50 km/h adelante y desde 0 hasta 24 ó 38 km/h atrás. El control de la velocidad y sentido de avance se hace desde una palanca tipo "joystick" situada en el apoyabrazos derecho del asiento del conductor. Del joystick parten las señales eléctricas que regulan la cilindrada de la bomba y de los motores.

La transmisión se realiza en parte hidrostática y en parte mecánica a velocidades bajas, y la parte hidrostática reduce su aportación llegando a haber sólo transmisión mecánica a velocidades elevadas.

Caja HM de Claas

La caja de cambios HM del la marca Claas que se instala en los tractores de la serie Xerion es más compleja que la anterior, como puede apreciarse en el esquema de la **figura 4**. La parte hidráulica es más simple, pues tiene una bomba reversible de cilindrada variable y un solo motor de cilindrada fija, pero la parte mecánica tiene más elementos que la de Fendt.

El eje de entrada, procedente del motor, tiene tres engranajes. El tercero acciona el eje de la bomba reversible de cilindrada variable. Los dos primeros, con diferente número de dientes, están encajando con dos engranajes de otro eje; uno de ellos ajusta directamente y el otro, a través de un tercer piñón intermedio para provocar el giro en sentido contrario. Entre los dos engranajes del segundo eje hay un sincronizador.

En este segundo eje hay dos grupos epicicloidales, además de un engranaje que ensambla con el del eje del motor hidráulico. A cada lado de los grupos epicicloidales hay otros dos engranajes, de diferente número de dientes, que encajan con cuatro engranajes del eje que finalmente envían el movimiento al diferencial. Según desde qué pareja de engranajes se transmita el movimiento hacia la salida, así tendremos una gama de marchas diferente.

Como puede apreciarse en el esquema, el eje que recibe el accionamiento mecánico desde la entrada acciona el portasatélites del primer grupo epicicloidal y la corona del segundo. El motor hidráulico acciona, a través de una pareja de engranajes, los planetas de ambos grupos epicicloidales.

Del primer grupo epicicloidal se envía el movimiento hacia el eje de salida a través de su corona (engranajes de color amarillo en la **figura 5**), mientras que del

velocidades de avance. La proporción de potencia que se transmite mecánicamente es muy superior a la que se transmite hidráulicamente.

En la **figura 6** vemos el aspecto exterior de la caja de cambios S-Matic. Al piñón rojo de la izquierda le llega el movimiento desde el motor. Su prolongación, el eje de color rojo, acciona mediante sendas parejas de engranajes la bomba del dispositivo hidrostático (color verde) y los engranajes del dispositivo mecánico (color azul). El giro del motor hidráulico también llega hasta el conjunto de engranajes situados en la carcasa de color azul. En el interior de la carcasa azul hay varios grupos epicicloidales con engranajes de diferentes tamaño. El motor hidráulico acciona los planetas, y el eje mecánico de entrada acciona las coronas. El eje de salida hacia el diferencial

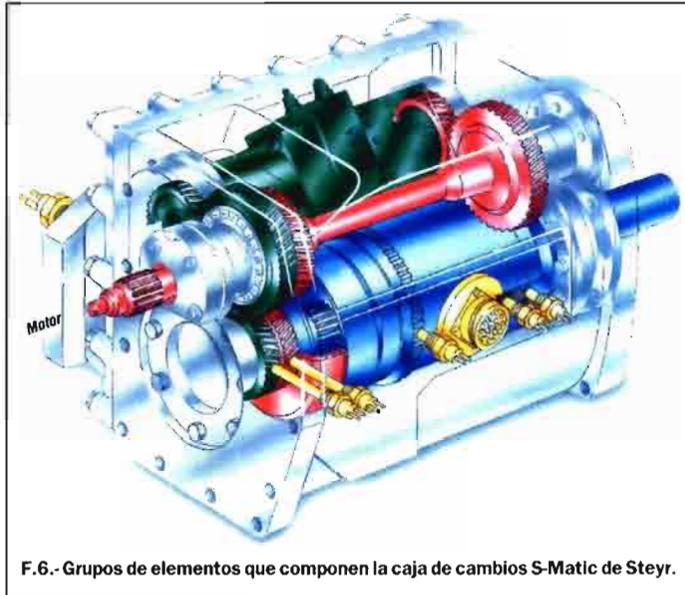
(extremo derecho de la parte azul) toma el movimiento de los portasatélites.

Según de cual de los varios grupos epicicloidales se transmita el movimiento hacia la salida, tenemos cuatro posibles gamas de marchas y, dentro de cada gama, infinitas posibilidades de variar progresivamente la velocidad y el par de salida gracias a la actuación del sistema hidrostático.

Los elementos de color amarillo en la **figura 6** son sensores y actuadores electrónicos que controlan todas las variables de trabajo, tanto de la caja de cambio como del motor. Los sensores detectan velocidades y par de diversos ejes y desde la caja electrónica a la que envían sus señales llegan órdenes al motor y a la caja de cambios para actuar sobre el acelerador y la gama de marchas a emplear, de modo que se mantengan siempre las condiciones de velocidad del motor de gasoil y gama de marchas más favorable.

Con estas cajas de cambios, se puede tener casi todo el tiempo el motor del tractor funcionando a la velocidad más conveniente (por ejemplo, la que produce un consume específico de combustible mínimo), y obtener la velocidad de avance deseada. El consumo de combustible se reduce, por tanto, a pesar de las mayores pérdidas que se producen en la parte de potencia que se transmite hidráulicamente.

Otra ventaja adicional es que tienen un tamaño mucho más reducido que una hipotética caja de cambios mecánica tan completa que llegara a dar prestaciones semejantes. ■



F.6.- Grupos de elementos que componen la caja de cambios S-Matic de Steyr.

segundo grupo epicicloidal se envía el movimiento hacia el eje de salida a través del portasatélites (engranajes de color verde en la **figura 5**). Las velocidades de salida del primer grupo epicicloidal son más altas que las del segundo grupo epicicloidal, pero se da la circunstancia de que cuando la cilindrada de la bomba alcanza su valor máximo y, por tanto, el motor hidráulico y los planetas de los dos grupos epicicloidales giran a la máxima velocidad, ambas velocidades de salida se igualan. Para cambiar de una velocidad de la gama alta (engranajes amarillos) a una de la gama baja (engranajes verdes), se pone momentáneamente la bomba en situación de cilindrada máxima. La parte hidrostática de la caja de cambios contribuye, por tanto, a hacer los cambios de marcha sin tirones y sin interrumpir la transmisión.

Con este sistema se dispone de una curva de par y de potencia casi horizontal a distintas velocidades de avance.

Caja S-Matic de Steyr

El tercer ejemplo de caja de cambios mecánico-hidráulica es la S-Matic que se instala en los tractores Steyr serie 91, distribuidos en España por Pedro Cabeza. La energía de entrada también se bifurca entre una transmisión hidrostática formada por una bomba reversible de cilindrada variable y un motor hidráulico, y una transmisión mecánica a base de engranajes. Después, se vuelve a reunir en un grupo epicicloidal, obteniéndose gracias a la progresividad de la velocidad del motor hidráulico, una gama continua de