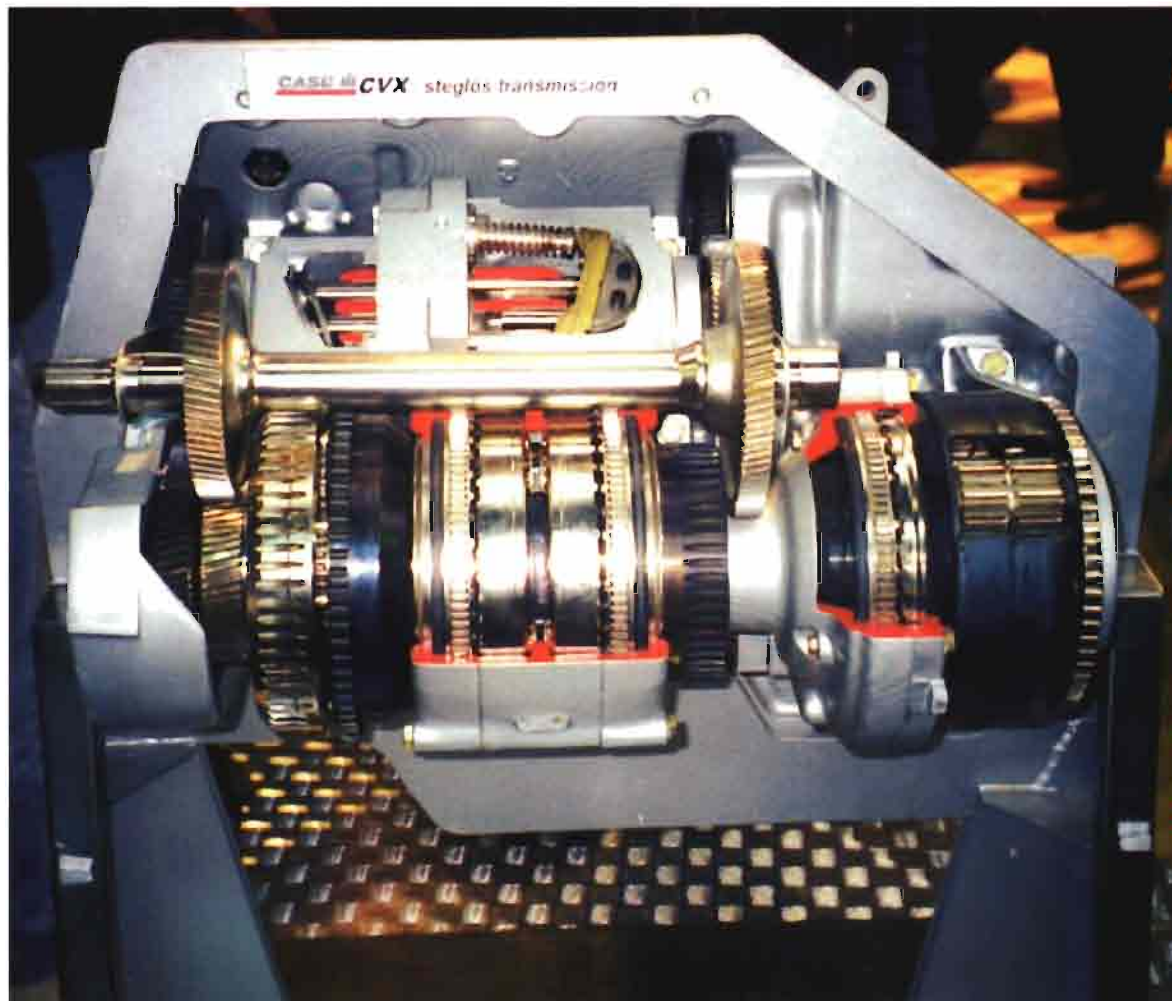




TRANSMISIONES (II)

En la primera parte de esta serie dedicada a las transmisiones se analizó su misión específica: modificar simultáneamente el par y el régimen del motor. Partiendo de esta idea, vamos a analizar los distintos componentes que una 'transmisión' incluye. Para ello, veamos primero los caminos que puede seguir la transmisión.



LOS COMPONENTES

Pensemos que estamos situados en el cigüeñal de un motor como en una estación de salida de trenes y que vamos a tomar como estación de destino las ruedas motrices. Consideremos sólo el trayecto motor-ruedas traseras y dejemos otros itinerarios de 'largo recorrido' para otra ocasión, como son el motor-ruedas delanteras y el motor-toma de fuerza, por no hablar de los múltiples trayectos de 'cercanías' que son todos aquellos cuyo destino son los distintos elementos que precisa accionar el propio motor para su funcionamiento, como pueden ser el ventilador, diversas

bombas y todos los mecanismos del sistema hidráulico.

Nuestro recorrido pasaría entonces por el embrague, la caja de cambios, el diferencial y las reducciones finales. ¿Para qué sirven cada uno de esos elementos?

■ EL EMBRAGUE

El embrague permite independizar el motor de las ruedas, es decir, que el motor gire y las ruedas estén detenidas. Si la transmisión es mecánica eso no es posible, a menos que exista algo

que permita separarlos, ya que, si estuvieran unidos y un extremo se para, el otro, también. Sin embargo, en cuanto interviene la hidráulica, la cosa cambia, porque ya **no** hay una unión mecánica completa entre el motor y las ruedas. Por eso, cuando hay un embrague hidráulico (turboembrague) o una transmisión hidrostática, **en teoría**, sobraría el embrague (luego viene la práctica, que siempre ajusta la teoría).

Tradicionalmente, el embrague se sitúa a continuación del motor, antes de llegar a la caja de cambios. Normalmente existe un pedal para gober-

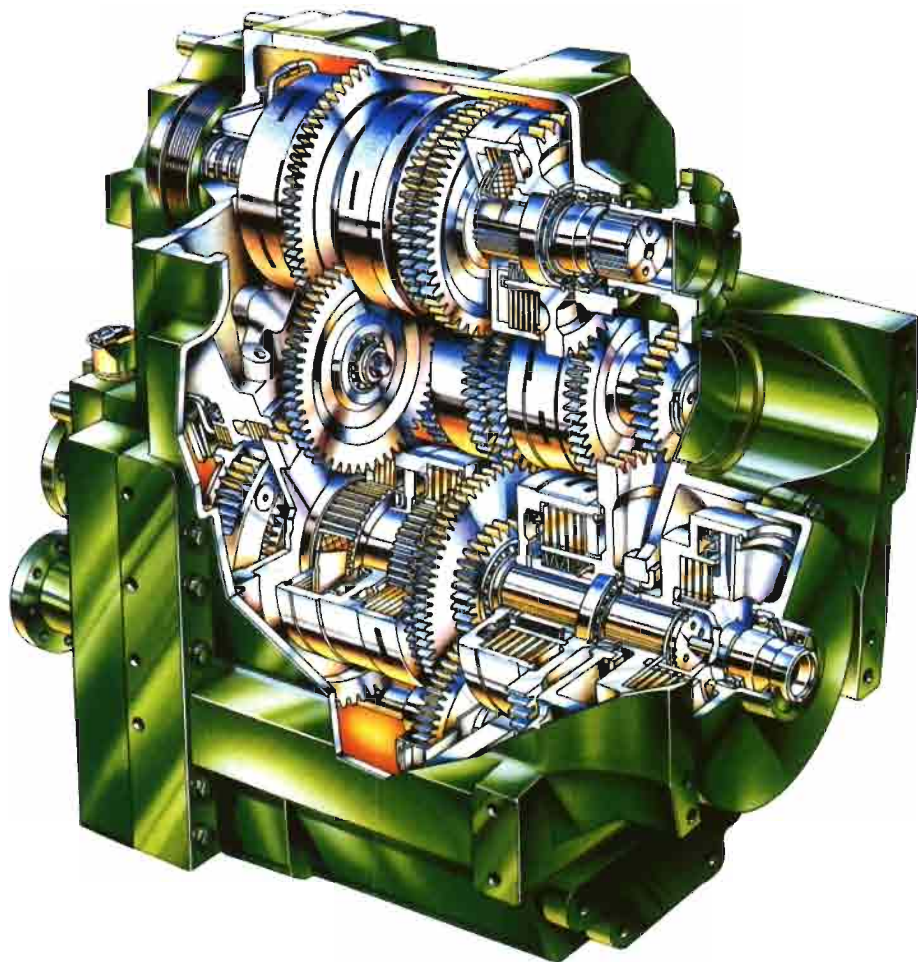
nar su funcionamiento. Cuando no se pisa el pedal, la potencia circula del motor a la caja de cambios. Se dice que el embrague está 'embragado'. Pisar el embrague es 'desembragar', es decir, dejar de transmitir el movimiento del motor a la caja de cambios.

EMBRAGUES MECÁNICOS POR FRICCIÓN

También, tradicionalmente, el embrague es mecánico, de discos. El funcionamiento es sencillo. El eje de salida del motor, el cigüeñal y el eje de entrada a la caja de cambios (se le suele llamar el primario) no son el mismo. Este primario es solidario a un disco que gira con él y, a su vez, puede desplazarse porque el eje primario y el disco son estriados. Si el disco se desplaza hasta el volante del motor y 'pega' por adherencia al mismo (aprovechando la gran superficie del volante) ambos girarán juntos. Transmisión embragada. Si se separan, el movimiento no se transmite a la caja de cambios. Transmisión desembragada. El encargado de desplazar el disco es el 'plato de presión' que, tradicionalmente, se mueve gracias a una serie de mecanismos accionados por el movimiento del pedal del embrague.

Como principio de funcionamiento, recordamos que **el embrague es un transmisor de par**. No lo modifica. O manda o no manda, que también se pueden describir como pegado o despegado, pero, en ambas situaciones, sin moverse respecto al embrague. Así debe de funcionar. Precisamente lo incorrecto es que no trabaje en esas dos condiciones extremas. El término 'pegado' es muy intuitivo para describir esas dos condiciones de funcionamiento, porque si el disco está 'pegado a medias' es que no está pegado del todo al volante y se está moviendo; este rozamiento desgasta su superficie prematuramente.

Sin embargo, todos hemos manejado muchas veces el pedal 'a medias' para evitar que se cale el motor en algunas maniobras difíciles. Es un 'pedacillo', pero lo grave es hacerlo tra-



bajando (transmitiendo mucho par) como hemos visto algunas veces en tractores arando. Se podría pensar en poner una recomendación en el manual de instrucciones del tipo: "*¡Atención! Durante el trabajo de tracción, mantener el pie lejos del pedal del embrague*".

Inicialmente los embragues de disco eran 'en seco', pero ahora son en baño de aceite, que tienen una duración y prestaciones superiores (cuando se dice prestaciones nos estamos refiriendo, claro, a la capacidad de transmitir par motor).

Con la irrupción de la hidráulica en los vehículos para 'asistir' las operaciones que antes se hacían a base de la fuerza muscular de brazos (o pies), aparecen los **embragues mecánicos de accionamiento hidráulico**. El embrague, en sí, es igual, con disco (o discos), pero el plato de presión se sustituye por una serie de pistones accionados por aceite cuya misión es desplazar el disco contra el volante. En este caso, cuando no se pisa el em-

brague (embragado), es porque el distribuidor hidráulico del sistema manda aceite a presión a los pistones para que peguen el disco al volante. El embrague 'actúa'. Cuando se pisa el embrague (desembragar), se libera la presión sobre los pistones y el disco se separa. El embrague 'no actúa'.

El término 'embragues de discos de accionamiento hidráulico' trasciende al mecanismo anterior (asociado al volante del motor). En muchos más elementos de la transmisión se verán estos conjuntos, con el mismo fundamento que el embrague convencional, pero con la estructura de dos juegos de discos (porque ya no hay un disco, sino varios), dos ejes y pistones para oprimir un juego de discos contra el otro. Cada uno de los juegos de discos es solidario a un eje. Con el aceite a presión los pistones acercan los juegos de discos y los dos ejes tienen que girar a igual velocidad. Se dice que 'actúa' el embrague, o posición 'embragada'. Si el aceite no lleva presión, los dos ejes son independientes. El

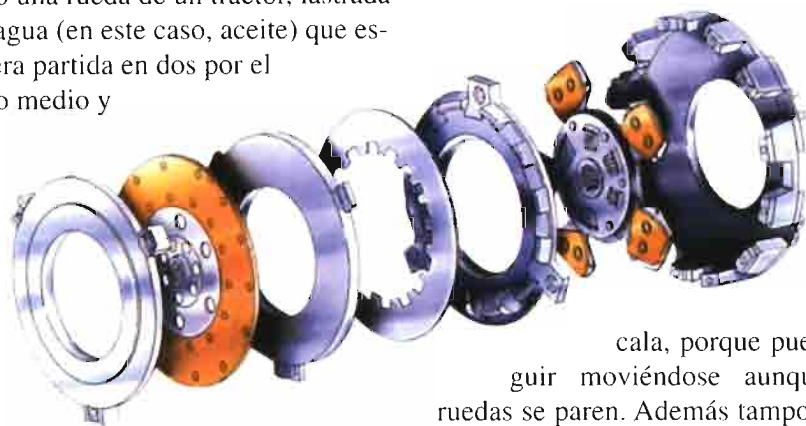
embrague 'no actúa', o posición 'desembragada'.

Las restricciones de empleo del embrague mecánico son dos: tironazo y calado. Si al embragar el motor tiene fuerza suficiente para la carga que se ve obligado a vencer (por ejemplo, arrancar en una cuesta arriba), porque se ha pisado a fondo el acelerador, el vehículo sale bruscamente y pega un tirón hacia delante. Si, por el contrario, el motor no tiene fuerza, se calará. Resumiendo, el embrague mecánico debe ser de:

- Acción progresiva (para evitar tironazos).
- Acción total (todo o nada, no a medias).

EMBRAGUE HIDRODINÁMICO O TURBOEMBRAGUE

Para corregir estos condicionantes del embrague mecánico apareció el embrague hidrodinámico, también conocido como embrague hidráulico o turboembrague, en el que no hay una unión mecánica (disco) entre el motor y la caja de cambio. La transmisión se hace entre dos medias-ruedas provistas de álabes (paletas), una solidaria al motor y la otra al primario de la caja de cambios. Ambas medias ruedas se juntan para formar una cámara que lleva un aceite especial. La cámara es como una rueda de un tractor, lastrada con agua (en este caso, aceite) que estuviera partida en dos por el plano medio y



llevara las garras (muy perpendiculares a la dirección de avance) por dentro, en lugar de por fuera.

Al acelerar el motor, la media rueda unida a él empieza a impulsar el aceite con sus paletas. El aceite adquiere velocidad y choca contra las paletas de la media rueda unida al pri-

mario de la caja de cambios. La velocidad del aceite produce una fuerza centrífuga que es la que acaba arrastrando a la rueda de la caja de cambios y transmitiendo el par motor. Al igual que el embrague mecánico es un **transmisor de par**, no lo modifica. Si puede, arrastra el primario a la misma velocidad del motor y si no puede, porque la velocidad del motor no produce suficiente fuerza centrífuga para arrastrarlo, pues se dedica a 'mover'

“El embrague de discos debe de ser progresivo y de acción total”

el aceite en el interior de la cámara. Por ello, este aceite debe llevar una serie de aditivos (antiespumante...) y no es conveniente que esté así mucho tiempo, porque también se calienta, pero la gracia es que el motor no se

cala, porque puede seguir moviéndose aunque las ruedas se paren. Además tampoco habrá tironazos, porque la inercia del aceite hasta que arrastra hace que aunque se levante el pie bruscamente, la entrada en funcionamiento sea progresiva y suave.

La teoría nos dice, pues, que un embrague hidráulico suaviza el funcionamiento, evita el calado y la necesidad del 'todo o nada' y... elimina el

embrague. Ya no lo necesito. Con el motor arrastro o no.

Sin embargo, tiene también sus condicionantes: a diferencia del embrague mecánico, no se llega a producir la independencia absoluta motor-transmisión. Su problema es, pues, la opción 'desembragar', que aquí consistiría en 'dejar de acelerar'. Incluso con el motor casi muerto, siempre hay un cierto 'arrastre', debido a que siempre circula aceite, aunque sea con muy poca fuerza.

Cuando detrás del embrague se encuentra una caja de cambios con dientes que deben engranarse (aunque sean los dentados de los sincronizadores) moverse es un problema. A la caja de cambios le hace poquísima gracia. Tanto es así que, al final, los vehículos que llevan embrague hidráulico, llevan, además, embrague mecánico. Esta solución busca la comodidad (nada de tironazos ni calados) pero también la independencia a la hora de engranar. Lo tenemos todo (y lo pagamos, claro).

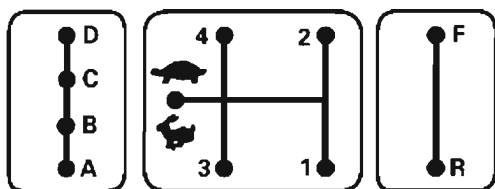
LA CAJA DE CAMBIOS

La caja de cambios consiste en el conjunto de elementos cuyo objetivo es modificar el par motor y el régimen de giro del cigüeñal.

Además de ese objetivo principal, con la caja de cambios se puede conseguir:

- Liberar al embrague de mantener la posición de 'desembragado' con el vehículo detenido (punto muerto).
- Inversión del sentido de avance del vehículo (marcha atrás).
- No detener el vehículo para cambiar (cambio sincronizado).
- No desembragar para cambiar (cambio bajo carga).

No todas las cajas de cambio cuentan con esas posibilidades. La estructura es, por lo general, modular, con sub-cajas puestas en serie y admite todo tipo de combinaciones en esas sub-cajas, unas son bajo carga, otras son sincronizadas, otras agrupan el embrague y el inversor, etc.



EL BLOQUE BÁSICO DE UNA CAJA DE CAMBIOS

En sus comienzos, la caja de cambios era una caja de 4 ó 5 'marchas' con tres ejes, el primario, el intermedio y el secundario. El eje de entrada era el primario (que venía del embrague). En ese eje estaba un piñón 'en toma constante' (quiere decir, siempre engranado) con otro engranaje situado en el eje intermedio.

En este eje, además, estaban otros 3 ó 4 piñones más, de distinto tamaño y número de dientes, todos girando solidariamente con el eje, es decir, todos al mismo régimen de giro. En el eje de salida de la caja, el secundario, van una serie de piñones, que forman pareja con los del intermedio. Cada pareja determina una relación de transmisión, o sea, una 'marcha'.

Con esta disposición habría 4 ó 5 marchas: las 3-4 parejas darían 3-4 marchas y la conexión directa del primario con el secundario otra más. Cuando ninguna pareja está 'activa' la caja se encuentra en posición de punto muerto.

Para el gobierno de la caja hay tres posibilidades:

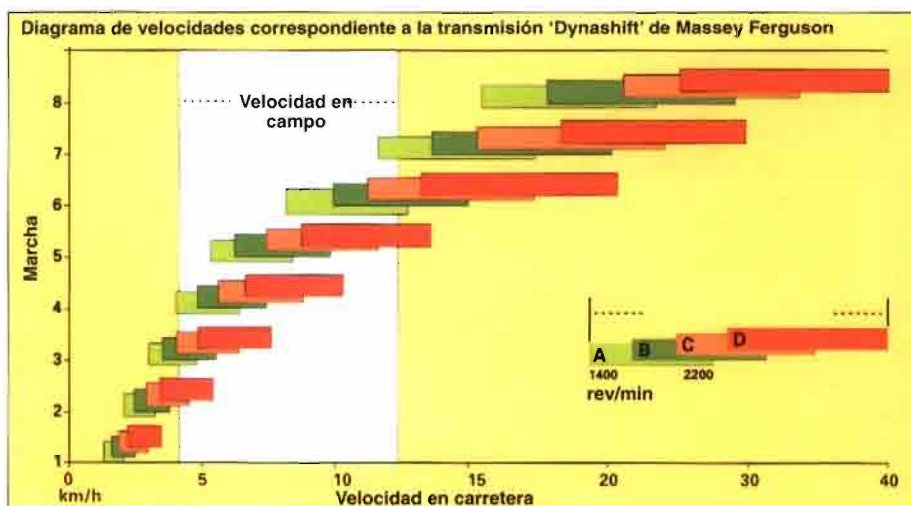
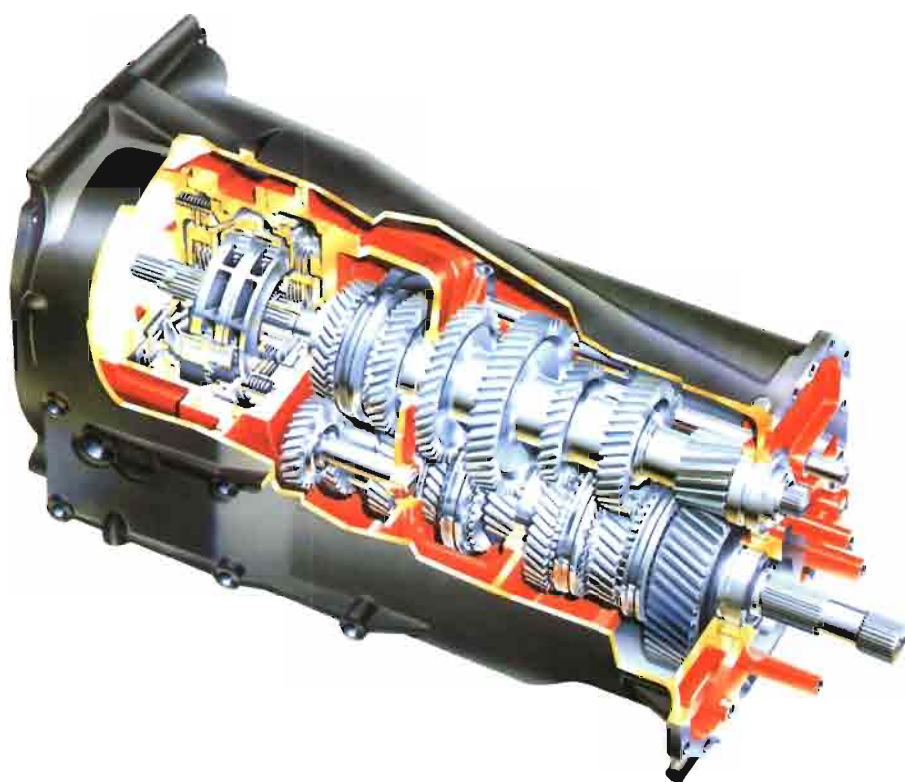
- Si la caja es por '**engranajes desplazables**', los piñones del secundario son solidarios con él, pero en punto muerto no engranan con ninguno del intermedio. Al actuar sobre los órganos de maniobra, las palancas del cambio desplazan a lo largo del secundario el engranaje que interese para la marcha seleccionada y lo hacen engranar con su pareja.
- Si la caja es por '**desplazables**' los piñones del secundario van locos sobre el eje, pero en toma constante con sus parejas del intermedio. Existen unas piezas llamadas 'desplazables' que, como su nombre indica, son las que se desplazan por el

secundario. Los engranajes, no. Al mover las palancas del cambio se mueve el desplazable, que lleva adosado un diente para engranar con los dientes adosados a los distintos engranajes del secundario.

- Si la caja es por '**sincronizador**' se trata entonces de un desplazable provisto de un dispositivo que va igualando las velocidades de los dos elementos que va a unir (desplazable y piñón del secundario) antes de que se haga el engranaje de los elementos dentados adosados a cada uno de ellos. De esta manera se facilita mucho el acoplamiento de los elemen-

tos dentados y no hay que detener el vehículo para cambiar (pero sí hay que pisar el embrague).

La razón de parar o no y pisar o no el embrague se pone de manifiesto con el ejemplo de las carreras de relevos. Para entregarse el testigo con cierta seguridad, una de dos: o están los dos quietos o van los dos a la misma velocidad. Pues bien, cuando hay que encajar un diente en otro, sucede lo mismo. En los dos primeros casos descritos, engranajes desplazables y desplazables, hay que engranar, así que a parar el vehículo. Hay 'pequeñas soluciones' como el 'doble embra-





gue' (no confundir con el 'embrague doble') que se empleaba para reducir la marcha (pasar a una más corta), pero son soluciones de compromiso.

Por el contrario, los sincronizadores permiten igualar las velocidades de los elementos que van a engranar, así que no hay que parar el vehículo. Ahora bien, engranar hay que engranar así que no se para el vehículo, pero **se deja de transmitir par** (siempre el par...) porque ya pedirle a los engranajes que soporten par mientras tratan de meterse unos dientes en otros, es demasiado. Por tanto, con sincronizadores, hay que pisar el embrague.

La marcha directa, que se ha mencionado, en muchas ocasiones se conseguía por medio de un acoplamiento de garras que tenían tanto el primario como el secundario y aunque no era por engranajes había que encajar las garras, así que tampoco era sincronizada. Con esa disposición requería detener el vehículo.

Lo normal es que una de esas 4 ó 5 marchas que tenía la caja fuera la marcha atrás, que se consigue intercalando un piñón adicional en una de las parejas intermediario-secundario.

BLOQUE DE REDUCTORAS

Luego llegó la reductora. Se trataba de una caja con 2 velocidades que se ponía generalmente antes de la caja de marchas, de manera que el eje de salida de la reductora se convierte en el primario de la caja de marchas. Si la reductora tiene dos posibilidades, se duplican el número velocidades de la caja de marchas. En algunos casos las relaciones dentro de esta minicaja eran, una marcha directa (en esta subcaja, no confundir con la 'directa' de la caja de marchas) y una marcha más

corta o reducida, que daba nombre a la caja.

Después empezamos a aumentar las posibilidades. La reductora deja de llamarse así, porque ya no tenía dos marchas, sino 3, 4... y se le llama caja de gamas, denominando a las distintas relaciones (gamas) que se podían conseguir con términos como: baja, media y alta; A, B, C y D; cortas, me-

“Los sincronizadores permiten igualar las velocidades de dos piñones antes de conectarlos”

dias y largas o denominaciones similares. Si multiplicamos las marchas de una por las de la siguiente y así sucesivamente, nos encontramos con tractores de 24, 48, 72 marchas. Muchísimas, con lo que empieza a vislumbrarse que necesitamos algo que nos ayude a 'gestionar' y sacar

partido a tantas posibilidades. Hay que ir pensando en sistemas automáticos.

EL CAMBIO EN CARGA

Ya se ha dicho que no es necesario detener el vehículo ni pisar el embrague. Evidentemente, con los tipos de cajas descritas hasta ahora no hay solución. La forma de conseguir el cambio bajo carga es:

- Con un convertidor de par.



- Con parejas de engranajes rectos gobernadas por embragues de accionamiento hidráulico.
- Con engranajes planetarios.

De los tres sistemas, el más usado es el basado en planetarios, que trataremos en otra parte de esta serie.

El convertidor de par es una modificación del embrague hidráulico. Tiene sus dos medias ruedas con álabes, pero además tiene un anillo, también con paletas. Llamado reactor que funciona de una manera muy peculiar. Sólo puede girar en un sentido, el mismo que las dos medias ruedas. Si éstas giran a igual velocidad, las acompaña y el mecanismo trabaja como embrague, transmitiendo el régimen de giro y el par.

Sin embargo, si las dos medias ruedas no van a igual velocidad, en concreto, si la que está del lado de sa-

lida del mecanismo disminuye su velocidad porque el vehículo así lo ha hecho ante un aumento de la resistencia sobre el mismo, el reactor se para inmediatamente y actúa como elemento de apoyo (de ahí su nombre) del aceite que circula.

Éste varía la dirección en la que se mueve, respecto a la que llevaría si no hubiera reactor y esta modificación de la dirección trae como consecuencia que modifica también su velocidad y, consiguientemente, la fuerza centrífuga y el par transmitido.

En este caso ya no es un embrague. Es, en esencia, una caja de cambios autónoma que modifica el par motor. Evidentemente, la modificación es bajo carga. En los tractores agrícolas no son mecanismos muy difundidos por el menor rendimiento en

“El cambio bajo carga no interrumpe la transmisión de potencia en el par entre velocidades”

la transmisión respecto a las transmisiones mecánicas, pero son muy usadas en máquinas de movimiento de tierra.

El cambio bajo carga con parejas de engranajes rectos gobernadas por embragues de accionamiento hidráulico

co consiste en un cambio en el que los órganos de maniobra son embragues de discos de accionamiento hidráulico. Los engranajes están en toma constante, pero no hay desplazables ni sincronizadores. Cada engranaje del eje de salida de la caja se asocia a uno de los juegos de discos de un embrague de accionamiento hidráulico. El otro juego de discos de cada embrague es solidario al propio eje de salida de la caja de cambios.

El movimiento de las palancas del cambio obliga al distribuidor del sistema hidráulico que gobierna la caja a que envíe aceite a presión al embrague que interesa, de manera que el eje de salida toma la velocidad del engranaje asociado a ese embrague. Para una caja con muchas marchas, el problema de esta solución es el excesivo número de embragues que conlleva.

El cambio bajo carga por excelencia en los tractores agrícolas está basado en los engranajes planetarios, pero este tipo de engranajes requiere una dedicación especial. Como concepto, mencionar que es una solución compacta, que ofrece muchas posibilidades y que, para transmisiones en que la potencia se basa en altos pares y bajas velocidades, la posibilidad de repartir en par entre un mayor número de dientes que con una única pareja, como sucede con los engranajes en ejes paralelos, resulta muy atractiva.

EL DIFERENCIAL

En un análisis detallado de las cajas de cambio, sólo se van a considerar los aspectos básicos del diferencial, que puede merecer un estudio independiente.

Como su nombre indica, el diferencial tiene como objetivo permitir diferencias de velocidad entre las ruedas de un eje motor, para que puedan abordar curvas. Como objetivo complementario, realiza una fuerte reducción de las revoluciones (o un fuerte incremento del par) mediante el engranaje piñón de ataque-corona.

El problema que debe de resolver el diferencial es el de conseguir la ali-



neación de una serie de elementos cuando las ruedas abordan la curva. El ejemplo es el desfile de una tropa. El soldado que va por el interior va a pasitos cortos y el que va por el exterior avanza a zancadas.

En los vehículos, si no hay diferencial, el trabajo de las ruedas sería muy penoso. ¿Se han fijado lo incómodo que es dar la vuelta en los extremos de los pasillos del supermercado con el carrito de la compra, que no lleva diferencial?. Sobre todo si el carro está lleno.

En el caso del tractor, vayamos por partes:

- La velocidad de giro de una rueda (de cualquiera) es igual a la velocidad de avance dividida por el radio de la rueda (unidades aparte).
- Las ruedas de cada eje son del mismo diámetro.
- Es evidente que en una curva, la rueda interior recorre menos camino que la exterior.
- La velocidad de avance de la rueda interior tiene que ser menor que la de la rueda exterior y tienen el mismo diámetro; la interior tiene que girar más despacio.
- Cuando un eje es conducido, no está unido cinemáticamente al motor. ¿Qué quiere eso decir? Pues que su velocidad no viene impuesta por el motor. En ese caso, en una curva estamos salvados. Como no tiene impuesta la velocidad cada rueda girará a la que precise para abordar la curva.
- Cuando el eje es motor, la velocidad viene impuesta y si el eje que une las dos ruedas fuera rígido, la velocidad de ambas ruedas sería la misma. ¿Cómo se soluciona eso? Intercalando en el eje (que deja de ser rígido) un mecanismo como el diferencial que permite conseguir esas diferencias de velocidad entre las ruedas del mismo eje. Los dos semiejes se suelen llamar semipalieres. En línea recta van a igual velocidad, pero tienen libertad para comportarse de manera diferente en curva.

Los vehículos de automoción tienen resuelto el problema de las curvas

con el diferencial, pero los tractores tienen el problema añadido del terreno (como siempre, el malo de la película).

Este mecanismo tan necesario puede ser un inconveniente en algunas condiciones sobre terreno suelto y en esos casos hay que 'anularlo'. Por ello los tractores (como otros vehículos extraviarios que comparten con el tractor la necesidad de enfrentarse con un terreno no preparado para circular) disponen de la opción de 'bloqueo del diferencial'.

■ REDUCCIONES FINALES

Los vehículos que aprovechan la potencia mediante par (fuerza) y a poca velocidad se encuentran con el problema de que a las transmisiones lo que les duele, claro, es el par. Como la potencia en un eje en rotación es el producto del par por el régimen de giro, cuanto menor sea éste, mayor será el par, para la misma potencia transmitida. Los dientes de los engranajes deben resistir fuerzas mayores cuanto mayor sea el par que transmiten, y ya se comprende que a mayor fuerza soportada, mayor calidad (y coste) del material.

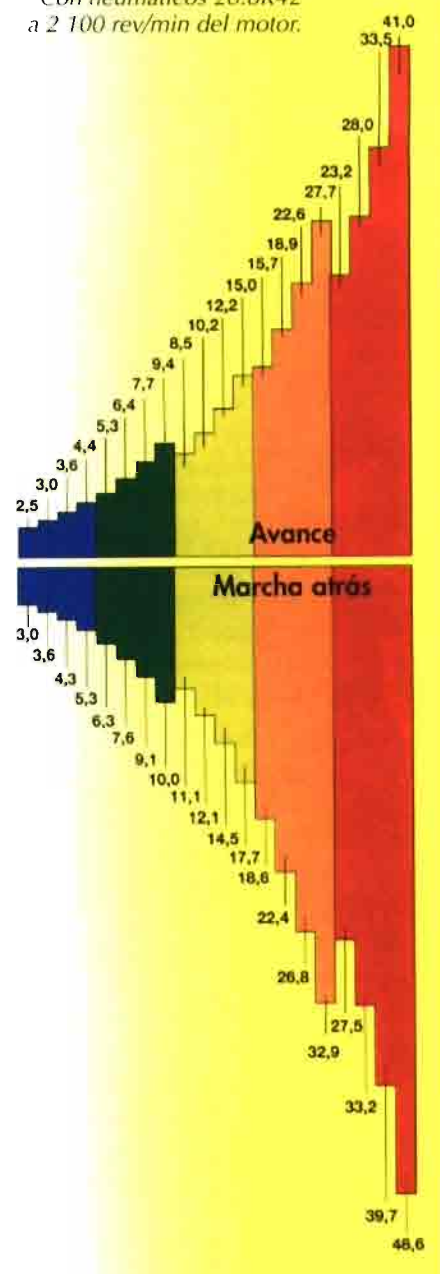
Interesa, pues, que la caja de cambios, sobre todo, vaya con poca reducción de vueltas del motor, o poco incremento del par, dejando para después de la caja fuertes reducciones. Ya hemos dicho antes que en el diferencial se hace una gran reducción en el mecanismo piñón de ataque-corona. Los tractores, además, dejan una última reducción (de ahí su nombre de 'reducción final') en el propio eje de las ruedas motrices.

Las reducciones finales más difundidas (aunque no las únicas) son del tipo de transmisión por planetarios.

■ CONCLUSIONES DE LA SEGUNDA PARTE

La transmisión es uno de los componentes del tractor que más ha evolu-

Con neumáticos 20.8R42
a 2 100 rev/min del motor.



cionado en los últimos años. Pretende conseguir muchas cosas:

- Ofrecer una amplia variación de marchas: marchas, marchas y marchas.
- Solucionar problemas específicos de la locomoción extraviaria: bloqueo del diferencial.
- Adaptarse a las exigencias de los vehículos que desarrollan potencia en tracción, reducciones finales, cambios bajo carga.
- Facilitar las maniobras con inversores bajo carga.
- Gestionar de la manera más eficiente el gobierno de la caja, y, por extensión, del motor y la labor. ☉