

MECANISMOS DE LA CAJA DE CAMBIOS

Vuelve el embrague

P. Linares
Grupo de Investigación
"Tractores y Laboreo"
Universidad Politécnica de Madrid

No es que se hubiera ido, pero le hacíamos menos caso. Y ha reaccionado. Con el *boom* de las transmisiones CVT (continuamente variables, o sin escalonamientos, o con infinitas marchas, como le guste a cada uno) se han vuelto a poner de moda los embragues, que es una de las herramientas que utilizan los fabricantes de cajas escalonadas para hacer menos visible el escalón.

Las CVT aducen orgullosas que los vehículos que las equipan consumen menos combustible, porque la gestión conjunta del motor y la transmisión permite seleccionar el punto de mayor eficiencia y menor consumo. Además, la ausencia de escalones hace suave el cambio, sin tirones, e incluso, puestos a hilar fino, eso se traduce en menos tiempo perdido. En Internet hay animaciones en las que se pone en evidencia este detalle de una manera muy intuitiva (ver el enlace a la página de Howstuffworks en la bibliografía, que es la página 5 de un artículo que merece la pena ver completo).

Los "escalonados" se han picado y han reaccionado furiosos, con el argumento de que las centralitas electrónicas (ECUS) no son propiedad de los vehículos con transmisión CVT (en lo que llevan toda la razón) y que las cajas automáticas escalonadas pueden llegar a ser tan suaves como las otras (ahí ya entraríamos en una estimulante discusión). ¿Qué ofrecen para ello? Por ejemplo, las transmisiones DSG (para impacientes, un poco más adelante, la **Tabla 1** ofrece una descripción de las siglas utilizadas).

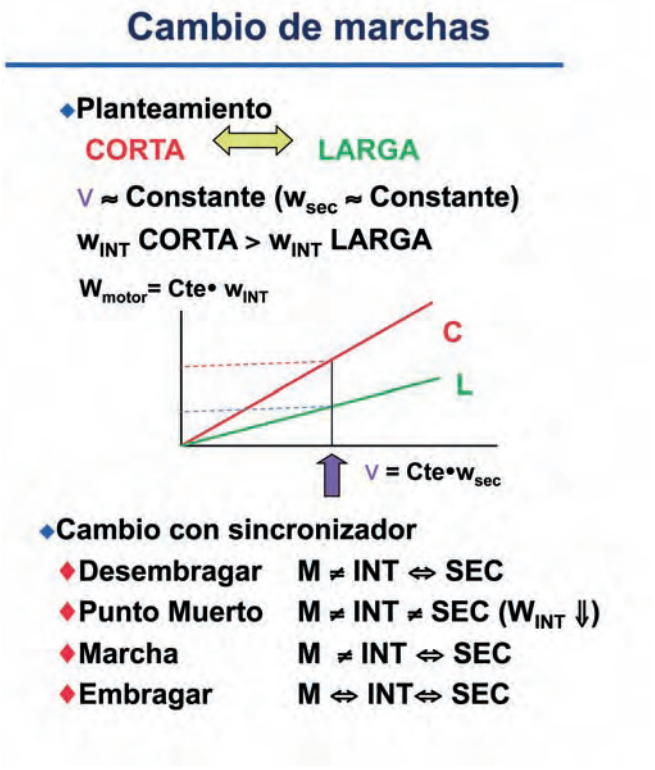
Muchas cajas CVT llevan toda una colección de paquetes de embragues y las últimas que han aparecido en el mercado los utilizan para modificar de manera significativa la forma de trabajo de la transmisión, algo que también hacen las cajas escalonadas, todo hay que decirlo. Como ejemplo, la caja Autocommand, de New Holland o las cajas Versu y Direct de

TABLA 1 / Tipos de cajas de cambio

Sigla	Designación	Nº marchas	Cambio	Escalón	Tirón	Tiempo	Nº embragues
AMT	Automated manual transmission	Finito	Manual	Si	Algo	Medio	1
SMT	Sequential Manual Transmission	Finito	Manual	Si	Poco	Muy bajo en secuencial	1
DCT	Dual Clutch Transmission	Finito	Manual	Si	Muy poco	Bajo	2
DSG	Direct Shift Gearbox	Finito	Manual	Si	Muy poco	Bajo	2
CVT	Continuously variable transmission	Infinito	Automático	No	No	Nulo	0 (*)

(*) Tiene embragues pero no para independizar o no el motor de las ruedas

FIGURA 1 / Concepto de cambio de marchas. La misma velocidad del vehículo se consigue con una marcha más corta, a más revoluciones del motor, que en una más corta, a menos vueltas. En el proceso del cambio hay que independizar el motor del intermediario (desembragar), independizar el secundario del intermediario (punto muerto), unir de nuevo el secundario al intermediario de la nueva marcha y embragar, uniendo de nuevo el motor al intermediario.



Valtra, así que quedémonos con la copla del nuevo resurgir del embrague, como, por ejemplo, en las cajas DSG.

LOS CONCEPTOS

Lo primero de todo, algunos conceptos relativos a las transmisiones:

- ¿Cuántas marchas tengo?
- ¿Cambias tú o cambio yo? (diálogo entre el conductor y el alien-microprocesador que llevamos en el vehículo). Dicho de otro modo ¿manual o automática?
- ¿Con qué extremidad gobierno la caja? (mano o pie)
- ¿Se interrumpe la transmisión de potencia para cambiar? (o sea, bajo carga o sin ella)
- ¿Pego tironcito? (escalonadas, DSG y CVT)
- ¿Tardo mucho en el cambio? (secuenciales, semiautomáticas)

La respuesta a esas cuestiones es lo que determina los tipos de cajas de cambio y esa respuesta no está en el viento, sino en las siguientes líneas. Veamos.

// EN LOS CAMBIOS SIN PIE PERO CON DEDO EL BOTÓN LO QUE HACE ES ORDENAR A UNA SERIE DE MECANISMOS QUE DESEMBRAGUEN, AL IGUAL QUE SUCEDÍA CUANDO SE PISABA EL PEDAL //

▶Número de marchas

Hemos empezado precisamente hablando de las transmisiones CVT, que son las más avanzadas (para que nadie se mosquee diremos que, al menos, en número de marchas, así es). Llegan indisolublemente unidas –ni el Tribunal de la Rota puede separarlas– a la electrónica y a la informática, a través de las estrategias de conducción, así que, además de infinitas, son bajo carga y automáticas, por supuesto. En el polo opuesto estarían las humildes transmisiones manuales y con pocas marchas y, en medio, todo un abanico de posibilidades asociadas a un montón de palancas y botones. Los tractores son un ejemplo de evolución en una carrera desenfrenada a incrementar el número de marchas: 12, 18, 24, 36, 50... hasta llegar al infinito de las CVT. ¿Que no se necesitan tantas? Para un usuario particular, cierto es, pero el fabricante saca una serie de fabricación corta con muchas posibilidades de utilización y en esas condiciones resulta más económico (para *todos*) incluir la oferta completa a todos.

▶Manual o automática

El concepto de transmisión automática se refiere a que el vehículo lleva mecanismos para detectar cuándo conviene cambiar, y medios para hacerlo solito, sin la colaboración del conductor. Por supuesto, el embrague (como elemento de actuación del conductor) sobra, así que tampoco lo lleva (otra cosa es lo que hay en las tripas de la transmisión). El vehículo ofrece también la posibilidad de que yo cambie, si es que me entra el mono, en un modo llamado "manual", sin necesidad de pedal, sólo dándole a la palanca. Por su parte, la transmisión manual es la que todos hemos aprendido, a base de palanquita y pedal, con las consecuencias que comporta (¿cuáles, cuáles?).

▶Con el pie o con la mano

Tradicionalmente el proceso de cambiar de marchas supone realizar las siguientes operaciones: pisar el embrague, mover la palanca de cambios y levantar el pie del embrague, o sea que se usan las dos extremidades: mano y pie. Injustísimamente, se le llama «cambio manual» (¡ay el ministerio de igualdad, que se fue sin meterse en este tema!). Con el tiempo han empezado a aparecer botones con los que cambiar sin necesidad de pisar el embrague e incluso un joystick o monomando, pero repito que estamos hablando del procedimiento operativo y las extremidades que empleo, en caso de que las necesite.

En clave creativa, pensaba yo que a las que prescinden del pie se les podría llamar "enteramente manuales" y a las otras, semi-manuales (y ya si lo decimos en inglés, quedamos de lo más fashion: full manual y half-manual). De hecho, algunas veces se les llama cajas semi-automáticas: AMT.

▶Sin carga o bajo carga... ésta es la cuestión

En las cajas manuales *para cambiar hay que pisar*. Al hacer uso del embrague se interrum-

LA SOPA DE SIGLAS

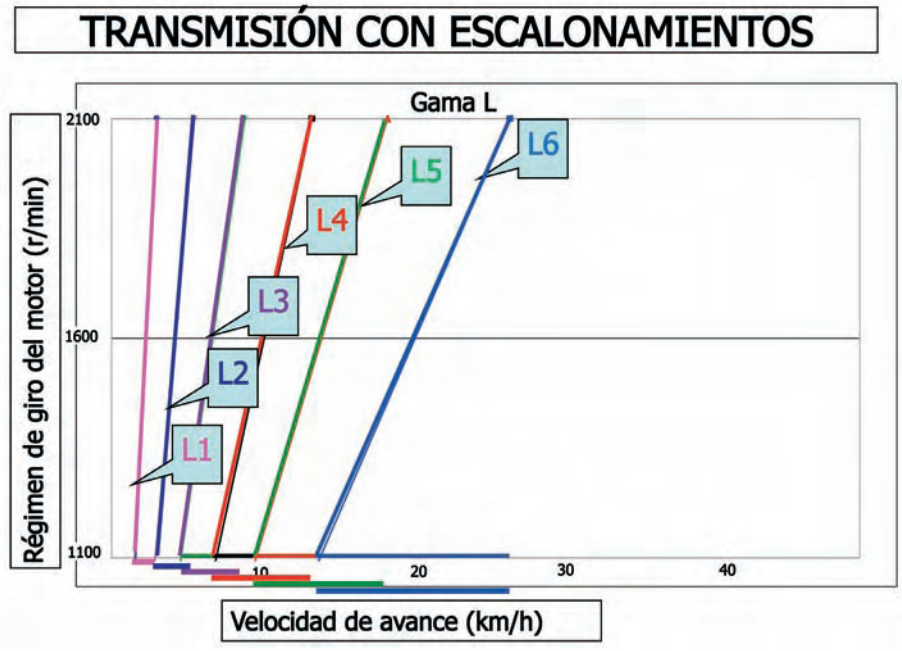
La técnica ha evolucionado, de las cajas manuales escalonadas a las manuales semiautomáticas (AMT), las secuenciales (SMT), ambas con embrague único y las DCT o DGS (son lo mismo), que llevan dos embraques.

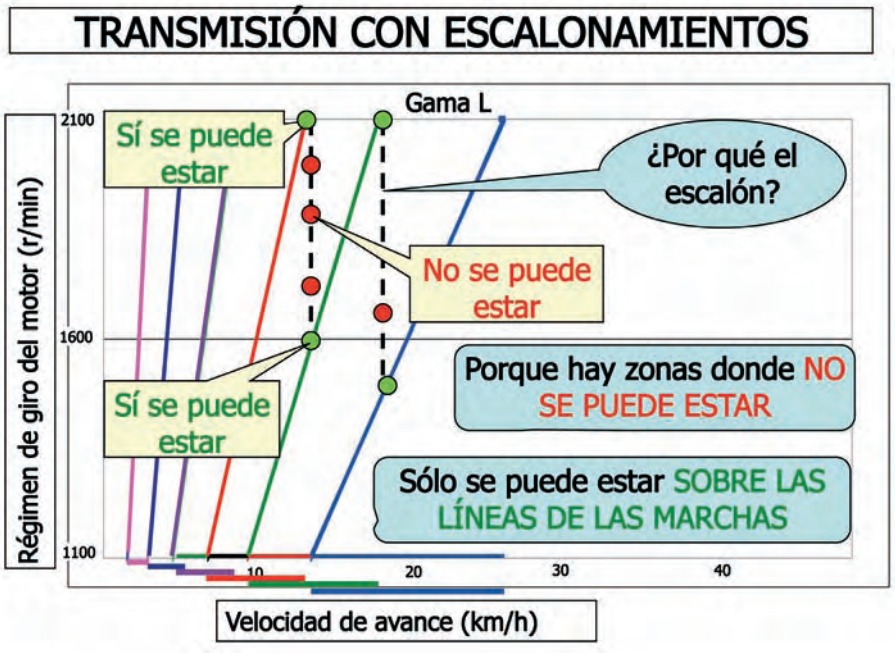
Tengo la sensación de que ahora uno se pone a escribir sobre algo y entra en el mundo de sopa de siglas (a ver, si no, por qué, nada más llegar a España, a Cristiano Ronaldo se le ha etiquetado como CR9 y ahora CR7). De hecho en este artículo ya he mencionado unas cuantas. Es una moda, a veces intuitiva; otras, no y a veces es irritante. Procede hacer una explicación de su significado.

Las cajas manuales no tienen siglas (podría proponer HCM, humilde cambio manual, pero no merece la pena).

Resumiendo en lo que nos ocupa, las siglas y su significado son los que aparecen en la Tabla 1. Para los interesados, el trabajo de Juan-Lorenzo Navascués, que aparece en la bibliografía, es una lectura apasionante y clara, que se baja sin problemas de Internet.

FIGURA 2 / Arriba: Diagrama régimen-velocidades en una caja de 6 marchas. Abajo: Representación de los puntos posibles/no posibles en una caja escalonada. Sólo se puede estar en los puntos verdes (sobre las líneas de las distintas marchas); en los rojos no. En concreto, en la marcha roja se puede acelerar hasta los 2100 r/min, en los que se consigue 12 km/h. En ese momento, al cambiar a la marcha verde, el motor caería hasta ≈ 1500 r/min. No se puede conseguir un régimen distinto con esa velocidad y las marchas que representa la figura.





pe la transmisión de potencia (par, paaaar) del motor a las ruedas. A los engranajes, como a todo el mundo, lo que les duele es hacer fuerza –par, en un eje en rotación–. Es la *GRAN* diferencia entre la *cinemática* y la *dinámica*. Moverse (cinemática) pero sin fuerza lo hacen encantados, pero ¡ay, amigo! cuando hay una fuerza entre los dientes (dinámica), la cosa cambia. Y a todos los dientes les pasa lo mismo y si no, que se lo digan a los míos tras una operación maxilofacial.

Si independizamos el motor de las ruedas para cambiar, dejamos de transmitir potencia (par, paaaaaar), y puedo igualar las velocidades de los engranajes (sincronizar), para cambiar sin detener el vehículo. Para los que desarrollan potencia a base de velocidad, no problem. Aprovecho la inercia del coche para que, sin detenerlo, pueda cambiar gracias al sincronizador de turno, pero he pisado el embrague porque por mucho que sincronice las velocidades hay dientes que desacoplar o acoplar y hacerlo con fuerza entre ellos no es recomendable. Para los tractores, en muchas ocasiones eso es una faena porque el apero lo que pide es fuerza y si piso el embrague me quedo sin ella.

En la **Figura 1** se presenta una simplificación del planteamiento que supone cambiar de marchas. Al final, como siempre, la cosa se reduce a un asunto de pareja (en este caso, dos marchas, de las que una será más corta que la otra, así que tenemos la corta y la larga). Recordemos que "corta" es la que reduce mucho las revoluciones del motor y produce velocidades de avance reducidas. En la misma figura se resume la secuencia de operaciones del cambio tradicional. Decir que la velocidad de avance es una constante por la velocidad del secundario es porque lo que hay entre el secundario y las ruedas son relaciones fijas (diferencial y reducción final).

En los cambios sin pie pero con dedo no vale el truco de decir que como no pisas el pedal no interrumpes la transmisión de potencia,

porque al pulsar el botón estás haciendo lo mismo, tramposillo, que el botón lo que hace es ordenar a una serie de mecanismos que desembraguen, al igual que sucedía cuando se pisaba el pedal. El pie, el dedo o un guiño del ojo (si llega el caso, en el futuro), *desencadena* el proceso de cambio, pero no garantiza el cambio transmitiendo potencia. Hay que saber las consecuencias de la acción. Con el pedal lo tenemos claro: interrupción segura (eh, eh, que en las CVT hay que matizar).

Con los "cambios bajo carga", se cambia de marcha sin dejar de transmitir par, se pise, se pulse o se cante una jota. Están basados en engranajes planetarios, en convertidores de par y en transmisiones CVT, claro.

▶El escalón

Una de las definiciones de una transmisión CVT es que es "sin escalonamientos", luego eso debe tener su miga. Recuerdo el éxito de una campaña publicitaria (Audi Multitronic; por cierto, transmisión CVT) en la que un rockero, vestido a lo Elvis, se cargaba el cambio de su coche y era recogido por una guapa señorita conductora del Audi. Al poner el muñeco-Elvis (que, por cierto, se hizo muy popular) para que moviera las caderas, la suavidad del cambio lo mantenía inmóvil, para frustración del rockero, del que se apiada la joven, que provocaba –manualmente– el baile del muñeco. Sí, lo de los escalones tiene bastante miga: a nivel de comodidad y de utilidad.

Por muy bien diseñado que esté el cambio tradicional, el proceso implica una variación de las vueltas del motor (el escalón, **Figura 2**) –aumento de vueltas al reducir y caída al pasar a una marcha más larga, como se podía ver en la **Figura 1**–, que se traduce en un tironcito (o tironazo, en función de la habilidad del conductor). La solución se busca con las cajas DGS y CVT. También se puede usar un embrague hidráulico o un convertidor de par, pero hoy pensaba dejar los fluidos para otra ocasión (sólo lo menciono para que no se diga que el comentario queda incompleto). Pero ya digo que no es sólo un tema de la comodidad debido a la suavidad del cambio. Está también el tema de la utilidad, de tener más puntos de funcionamiento del motor que con las escalonadas. En la misma **Figura 2** se muestra que sólo es posible estar en los puntos verdes (sobre las líneas de las distintas marchas), mientras que con las CVT se puede estar en cualquier punto del diagrama representado (régimen del motor-velocidad de avance).

▶El tiempo

Muy relacionado con lo anterior está el tiempo para realizar el cambio. Cuanto mayor sea, más fácil es caer en el tironcito.

CAJAS AMT

Las cajas AMT consisten en transmisiones manuales pero gobernadas por una serie de dispositivos electrónicos (sensores, actuadores) para operar el embrague. Lo que no hay es pedal. Merece la pena observar el matiz terminológico: en inglés les llaman "Automated" no "automatic", porque no son automáticas. Es el conductor el que decide cambiar, desencadenando una serie de órdenes para realizarlo. Lo que pretenden es disminuir el tiempo del cambio y la fatiga del operador.

➔LA CLAVE
Aunque no hay pedal, no son automáticas. No aptas para labores que requieran más fuerza de tracción

Como curiosidad, puedo decir que antes de operarme de hernia de disco me juraba que el próximo coche no tendría embrague (luego, el éxito de la operación y la costumbre me ha mantenido fiel al pedal). También los tractores tienen marchas AMT con pulsadores manuales. En operaciones de transporte o ligeras, sirven para cambiar, pero no valen en labores en las que se precise más fuerza de tracción (par transmitido). Algunas veces hemos llamado a estos cambios "on the move" (en movimiento), pero no son denominaciones normalizadas, algo que alguna vez habría que abordar. En automoción, las cajas AMT ofrecen menores costes de fabricación y peso que sus hermanas mayores, las SMT y las DSG.

CAJAS SMT

Consiste en una caja manual provista de un embrague controlado por ordenador que tiene *programada* la secuencia normal de cambio: ir saltando de una marcha a la inmediatamente superior (o inferior). Cada vez que el conductor toca la palanca, salta secuencialmente la marcha en un tiempo muy reducido. Se puede alterar la secuencia lógica, pero entonces el tiempo de cambio ya no es tan corto.

➔LA CLAVE
La clave diferencial de esta transmisión es la palabra secuencial

CAJA DSG

DSG son las siglas de "Direct Shift Gearbox" (en alemán, Direkt-Schaalt-Getriebe), o sea, caja de cambios con cambio directo que, en español, dice poco, la verdad, pero todo viene de que las siglas corresponden al término alemán, ya que fue el grupo Volkswagen el primero que la sacó al mercado. Antes de la segunda guerra mundial ya se había trabajado con la idea (el francés Adolphe Kégresse) y en los años 80 Porsche la aplicó a coches de carreras: el PDK (Porsche Doppelkupplungsgetriebe, o, en inglés, dual clutch gearbox) usado en el Porsche 956 y 962 hasta que en 2003 Wolkswagen la utilizó en un vehículo comercial, el Golf. También se les llama DCT (*Dual Clutch Transmission*) que ya dice algo más, puesto que el factor diferencial de estas cajas es disponer de dos embragues. También se les llama "Twin clutch" o "Dual clutch".

➔LA CLAVE
Combinación de dos cajas independientes, con un embrague cada una pero que trabajan como una unidad

La caja de cambios está formada por la combinación de dos cajas independientes, cada una con su embrague, pero que trabajan como una unidad conjunta. Las dos cajas tienen sus respectivos ejes de salida, cada

FIGURA 3 / Caja DSG con dos embragues: rojo para las marchas impares y verde para las pares (www.howstuffworks.com)

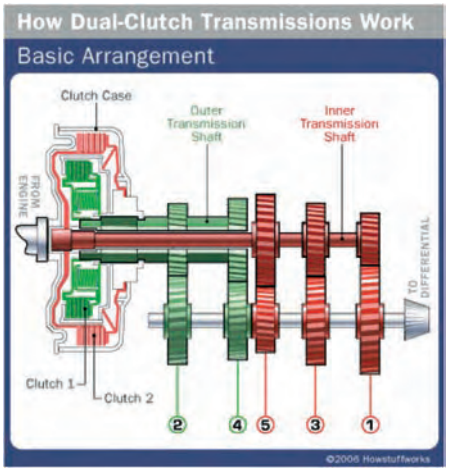
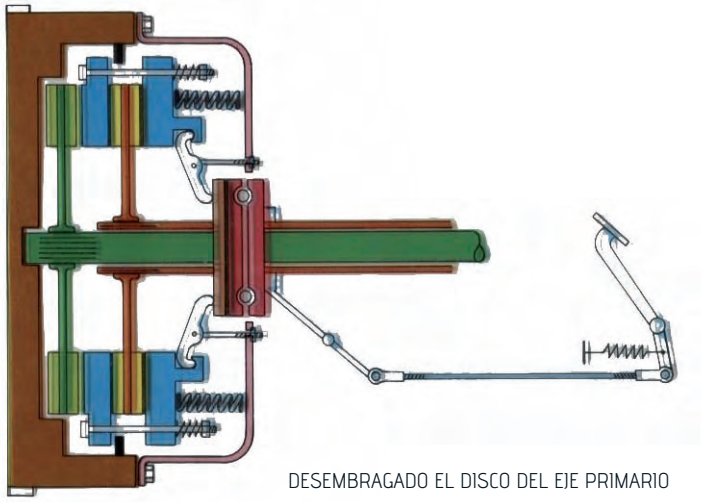
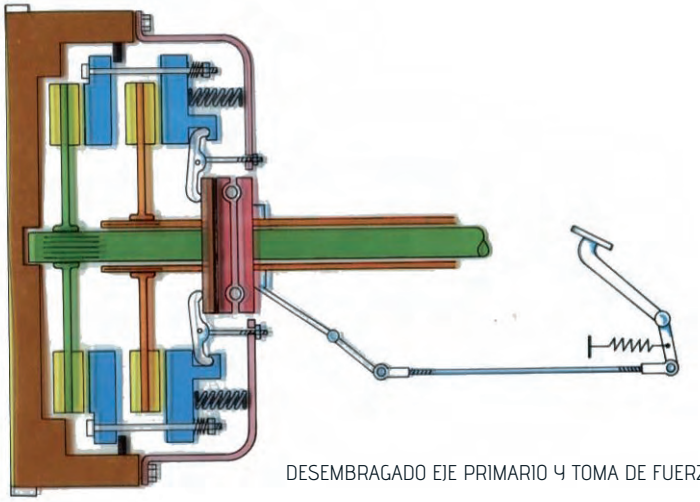


FIGURA 4 / Embrague doble en un tractor con toma de fuerza semi-independiente. El disco verde transmite el movimiento al eje de accionamiento de la toma de fuerza y el disco rojo, a la caja de cambios. En la imagen superior, desembragado el primario de la caja de cambios, con el embrague a mitad de su recorrido. En la inferior, con el pedal a fondo, desembragado también el eje de la toma de fuerza. (Arnal, P.; Laguna, A. Motores y Tractores agrícolas)



DESEMBRAGADO EL DISCO DEL EJE PRIMARIO



DESEMBRAGADO EJE PRIMARIO Y TOMA DE FUERZA

uno de los cuales se conecta con el de salida de la caja.

¿Cómo se consigue? Pues, veamos. En la disposición más común, una de las dos cajas que forman la DSG proporciona las marchas "impares" y el otro, "las pares". En la **Figura 3** aparece una caja DSG con los dos embragues, el rojo para la caja "impar" y el verde para la "par". El embrague rojo de la caja "impar" tiene su eje de salida asociado (rojo, también). Lo mismo sucede con el embrague verde de la caja "par", que es atravesado por el rojo. Cuando el vehículo está parado "el sistema" (forma impersonal de llamar a ese "Gran Hermano" que es el sistema electrónico-informático que controla el vehículo) selecciona la primera velocidad en la caja "impares" y la segunda en la caja "pares", pero activa el embrague de la caja "impares" con lo que la marcha "activa" es la primera. La segunda está "de guardia" esperando su turno. Cuando la velocidad del vehículo alcanza un cierto valor, la centralita electrónica decide cambiar de embrague y activa el de la caja "pares". El cambio es prácticamente instantáneo. Por supuesto, en la caja "impares" se selecciona la tercera velocidad y así sucesivamente.

// CON LOS "CAMBIOS BAJO CARGA", SE CAMBIA DE MARCHA SIN DEJAR DE TRANSMITIR PAR. ESTÁN BASADOS EN ENGRANAJES PLANETARIOS, EN CONVERTIDORES DE PAR Y EN TRANSMISIONES CVT //

Con la transmisión DSG se reduce el tiempo del cambio respecto a las SMT.

Por poner cifras, una DSG puede emplear 8 ms en el cambio, respecto a los 60 ms de la SMT que equipa el Ferrari F430.

CAJA CVT

En la tabla se puede ver que es una transmisión muy avanzada, con grandes diferencias en las que equipan los tractores y los automóviles y, como ya he dicho muchas veces, proporcionan una gran satisfacción por la suavidad de manejo.

En cuanto a su relación con los embragues, en el mundo de los tractores hay desde las que NO llevan, como la caja Vario y asociadas (Fendt, Massey-Ferguson, Valtra, JCB) hasta las que llevan un número bastante elevado para conseguir la variación continua con varias cajas operadas por embragues (Case, Claas, Deutz, John Deere, McCormick, New Holland). Su misión NO es interrumpir la transmisión de potencia del motor a las ruedas. Se trata de órganos de maniobra para gobernar el funcionamiento interno de la unidad CVT.

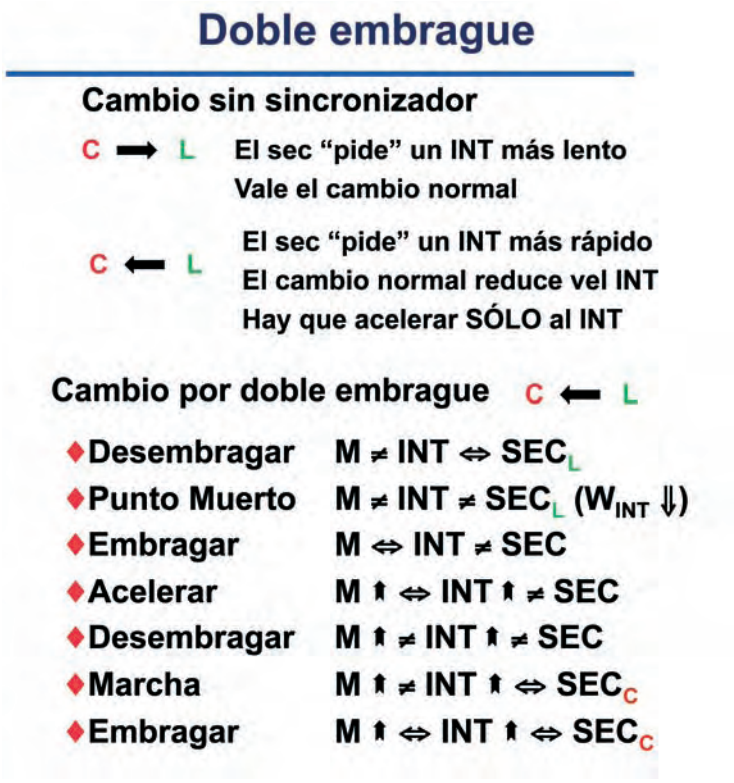
EMBRAGUE DOBLE Y DOBLE EMBRAGUE

¡Qué curioso! Hace muchos años (¡ay!), cuando empecé a dar clase, explicaba el embrague doble (y el doble embrague, que no es lo mismo; aquí, el orden de los factores sí altera el producto) por aquello de que los tractores no tenían todos la toma de fuerza independiente. Sin embrago, hace unos años lo quité del programa, por considerarlo ya algo del pasado. Pues mira por donde que otra vez estoy a vueltas con un embrague doble, que no es como el antiguo de los tractores, pero es doble. Para no andar jugando con el lenguaje, los recuerdos y las adivinanzas, demos una pequeña vuelta por esos conceptos para diferenciarlos del DSG.

▶Embrague doble

El de los tractores con toma de fuerza semi-independiente –yo es que prefiero ver el vaso medio lleno y pasar por la incorrección de las dos "i" juntas que llamarla semi-dependiente– era un embrague con dos discos y dos ejes de salida, uno para la toma de fuerza y otro para la caja de cambios (**Figura 4**). El pe-

FIGURA 5 / Doble embrague. Cambio sin sincronizador. Al reducir, secuencia de operaciones en el proceso del doble embrague, para acelerar selectivamente al eje intermediario.



dal era único. Pisarlo hasta la mitad de recorrido desembraga la caja de cambios y mantiene el giro de la toma de fuerza. Al pisarlo a fondo se desembraga también la transmisión a la caja de cambios.

▶El doble embrague

No era un dispositivo en sí, sino una práctica de conducción para vehículos que no tenían marchas sincronizadas (o sea, abocados a parar el vehículo para cambiar). La forma de solventarlo: hacer el doble embrague. Consiste en acelerar selectivamente el eje intermediario de la caja de cambios cuando se "reduce". Al pasar de una marcha corta a una larga, el intermediario girará a menos vueltas, así que el paso a una marcha más larga se puede hacer con relativos pocos problemas. Sin embargo, al reducir sucede lo contrario (**Figura 5**), por lo que se inventó ese juego malabar de manos y pies en el que, a la secuencia normal (**Figura 1**) se añadía, tras quitar la marcha larga, volver a embragar y dar un pequeño acelerón, para que se anime el intermediario de cara a recibir con más agrado la marcha corta.

GUAU!, EL DOG CLUTCH

Si nos fijamos en las cajas modernas, muchas llevan "dog clutch" (no he encontrado el término español y no me atrevo a llamarles embrague de perro). Se podrían llamar "embragues de garras o de mordaza" porque la diferencia con los convencionales, basados en la fricción entre el disco y el plato es que la unión o separación de los dos ejes que se conectan mediante él se hace por interferencia, encajando las garras de las dos partes del embrague y evitando el movimiento relativo de los mismos. En la **Figura 1** tenemos un ejemplo de un primitivo embrague de garras para conseguir la tercera velocidad de avance, juntando el primario y el secundario directamente.

Lo característico, por tanto, es la ausencia de deslizamiento entre los ejes que tanto desgaste produce en los embragues de discos, sobre todo cuando hacemos el "medio embrague" al pisar un poco para quitarle fuerza al vehículo cuando no estamos seguros haciendo una maniobra delicada... y nos comemos el disco, claro.

CONCLUSIÓN

Sí, el embrague ha vuelto y con ganas de hacerse notar. Sea bienvenido, comprendido, utilizado y aprovechado. Repasemos conceptos y actualicemos conocimientos. No queda otra.

BIBLIOGRAFÍA

Navascués Benlloch, Juan-Lorenzo. La evolución de las transmisiones. Anales de mecánica y electricidad / enero-febrero 2008

Arias Paz. Manual de automóviles. 53 ed 2000

Arnal, P; Laguna, A: Motores y Tractores agrícolas. Primera edición. Ministerio de Agricultura. 1980

http://auto.howstuffworks.com/cvt5.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/Dual_clutch_transmission

http://en.wikipedia.org/wiki/Semi-automatic_transmission

¡Visítanos en Facebook!

Ya puedes unirte a nuestro grupo de amigos en Facebook, en la que podrás mantenerte informado de las últimas noticias del sector y enterarte de nuestras promociones

www.editorialagricola.com

facebook

editorial agrícola