

# CAMBIOS ROBOTIZADOS

El gran avance dentro de los cambios automáticos sucedió con la llegada del control electrónico. Se puede decir que ha sido la electrónica la responsable de la cada vez mayor popularización de este tipo de cambios. Es una evolución parecida a la sucedida con el caso de los motores, con el relevo de la carburación por parte de la inyección electrónica.

Los cambios de marcha ya no se producen en función de referencias mecánicas, sino que vienen determinados por una serie de leyes gobernados por la electrónica.

Para que el cambio actúe en cada momento según las necesidades del conductor, se disponen de distintos sensores que miden, entre otras cosas, la velocidad del vehículo, la posición y velocidad con que se pisa el acelerador, la marcha insertada, etc. La información recabada es enviada a un calculador electrónico que es el que ordena qué marchas insertar en cada momento.

La utilización de un control electrónico ha permitido a los cambios automáticos dibujar una forma de uso un poco más cercana a los pensamientos y deseos del conductor.

Una de las características de los tipos de cambio que se ven en este apartado son las posiciones que puede se pueden seleccionar con la palanca (Figura 4):

- **P (Parking)**: es equivalente al freno de mano de las transmisiones manuales: sólo se emplea con el vehículo totalmente parado, para evitar que se desplace.
- **R (Reverse)**: la marcha atrás. Esta posición está bloqueada para velocidades superiores a los 10 km/h hacia delante.
- **N (Neutral)**: el punto muerto. El posible movimiento del motor no se transmite a las ruedas.
- **D (Drive)**: con ella insertada (incluso desde parado), el cambio decide la marcha más adecuada en cada momento. Es la posición que sirve para todo: el vehículo arranca en primera y, cuando llega a un régimen determinado, la caja pasa a la marcha superior.

Aparte de esas posiciones, normalmente se disponen también de otras bien en forma de números o letras, que son posibilidades de bloqueo. En el primer caso, dependiendo del número de marchas con que cuente el cambio pueden existir una, dos, tres o hasta cuatro posiciones. Desplazando la palanca hasta cada una de ellas, lo que se hace bloquear la transmisión hasta la marcha que indica el número. Es decir, eligiendo la posición dos, el coche podrá utilizar las velocidades inferiores pero nunca pasará a la tercera relación.

La otra posibilidad es la de disponer de las letras S y L, con las que se seleccionan marchas cortas (L) o largas (S).



**Figura 4. Posiciones típicas de una caja automática convencional**

Otra característica de estas transmisiones (y de las surgidas posteriormente) es el mecanismo *kick-down*. Esta modalidad permite bajar dos ó tres marchas cuando vamos circulando en una marcha larga con el motor a bajas vueltas. La electrónica se encarga de medir cuánto y cuán rápido se pisa el acelerador. El resultado es ofrecer mejores recuperaciones que con cambio manual.

La llegada de la electrónica también ha permitido la posibilidad de disponer de programas de funcionamiento junto a la palanca, que pueden llegar a ser hasta tres (Figura 5):

- **Deportivo o *sport***: para conducción deportiva.
- **Económica o *normal***: conducción tranquila.
- **Invernal o *ice* o *winter***: para facilitar el arranque en firmes deslizantes o poco adherentes.



**Figura 5. Programas Winter (W) y Sport (S)**

Dentro de este apartado se va a hacer una distinción entre los siguientes tipos de cambios:

- Cambios automáticos con gestión electrónica sencilla.
- Cambios inteligentes o autoadaptativos.
- Cambios automático-secuenciales.

La característica común a los tres es la de incorporar control electrónico, disponer de convertidor de par como conexión entre el motor y la caja de cambios y de utilizar un accionamiento electrohidráulico (hidráulica para el accionamiento y electrónica para el control). Sin embargo, existen diferencias funcionales y de comportamiento que las hacen merecedoras de un tratamiento diferente.

### **Gestión electrónica sencilla**

En esta clasificación se incluyen aquellas transmisiones en las que la intervención de la electrónica es mínima.

En general, este tipo de cambios destacan por una gestión del cambio bastante anticuada que redunde en un funcionamiento poco ajustado a las necesidades del conductor. Es habitual la tendencia de la electrónica de reducir de marchas en cuanto se pisa ligeramente el acelerador; o de engranar la marcha más larga a poco que se levante el pie del mismo. Ciertos modelos carecen también de la retención del motor. En pocas palabras, utilizan una gestión electrónica muy susceptible.

No suelen disponer de ningún tipo de bloqueo del convertidor, con lo que el excesivo patinamiento del mismo provoca un consumo considerablemente alto y una merma en las prestaciones. Otro punto que no contribuye al consumo es el mayor número de cambios de marcha que realizan respecto a un cambio manual. Incluso algunos modelos carecen de programas de ayuda a la conducción en la consola. También el número de relaciones del que suelen disponer, normalmente cuatro, exigen un desarrollo alto de las mismas que implica un rendimiento inferior.

Algunos vehículos con posibilidad de montar unas transmisiones que se encuadran dentro de este subapartado.

## **MODELOS Y COMENTARIOS**

### **Seat León/Toledo**

Cambio de cuatro velocidades con función *kick-down*. Interpreta conducción deportiva o normal según cuánto se pise el acelerador.

### **Honda Accord**

Caja de cuatro relaciones que destaca por ofrecer poca retención y ausencia de programas. El bloqueo de marchas se realiza por medio de un fiador en el pomo.

**Volvo C70** Transmisión de cuatro marchas con función *kick-down* con una única tecla de funcionamiento inercial.

**VW Beetle** Cambio de cuatro velocidades con función *kick-down* con una electrónica sencilla

## Inteligentes o autoadaptativos

La llegada de este tipo de transmisiones ha resultado ser una auténtica revolución en los cambios automáticos. En este tipo de transmisiones, la sofisticación en el control electrónico ha provocado una adaptación plena entre las actuaciones del cambio y las necesidades del conductor en cada momento.

Se podría decir que el cambio “aprende” de los hábitos del conductor. La electrónica ya no se limita sólo a la posibilidad de seleccionar, mediante un botón en la consola, un programa determinado (deportivo, económico o inercial). Ahora se habla de leyes de paso. No son unas leyes fijas para pasar de una marcha a otra según el programa seleccionado, sino que se ajustan:

Al conductor: ley económica, media o deportiva. Se analiza la actitud del conductor en todo momento para saber el tipo de conducción que pretende realizar. Una vez hecho esto, definen las leyes del cambio automático para el paso de una marcha a otra según el momento.

A la carretera: leyes de subida fuerte o moderada y de bajada.

A las condiciones de conducción: arranque en frío, motor caliente, etc.

Para ello el calculador electrónico maneja una serie de parámetros que son proporcionados por unos sensores:

La posición y velocidad de accionamiento del acelerador. La velocidad del vehículo.

El par motor.

El régimen de giro.

Número de veces que se actúa sobre los frenos.

El desnivel de la carretera

A partir de estos datos, un “cerebro electrónico” selecciona la marcha más adecuada. Así consiguen solucionar muchas carencias de los automáticos de gestión sencilla. Las ventajas de este tipo de transmisiones frente a sus predecesores:

Detección de los hábitos y modos del conductor.

Se cuenta con la retención del motor tanto al descender una pendiente como al entrar en una curva.

Inmediatez de respuesta.

Mayor protección del motor.

Mayor rendimiento: menores consumos y mejores prestaciones.

Los mejores resultados que se encuentran actualmente en el mercado corresponden a los fabricantes Renault, PSA, y Mitsubishi.

Renault y el grupo PSA (Citroen y Peugeot)

Renault y PSA desarrollaron a partir de 1997 una caja de cambios especialmente pensada para aumentar la accesibilidad del gran público a este tipo de transmisiones. El resultado fue una caja de cambios autoadaptativa de cuatro velocidades (con la denominación de Proactiva en el caso de Renault y Autoactiva en el de PSA) capaz de reconocer las circunstancias en las que opera y adaptarse a ella, basándose en unas leyes de paso. La empresa

Siemens fue la encargada de la construcción del procesador.

Se trataba de una caja compacta y un 20% más ligera que una caja automática convencional (70 kg. y 37 cm. de longitud) por lo que se adaptaba bien a modelos de tamaño medio y pequeño.

El calculador electrónico a través de sensores en el motor, selector del programa, freno y acelerador elige el modo de funcionamiento del cambio en función de las condiciones. La información recabada es tal como: la velocidad del coche, el régimen del motor, la posición y velocidad de accionamiento del acelerador, el par motor, el programa de cambio elegido, el número de veces que actuamos sobre el pedal de freno, etc.

A pesar de que Renault, Citroen (Figura 6) y Peugeot utilizan la misma caja, cada uno de ellos amolda siempre la gestión electrónica al modelo y motor que vaya a equipar el automatismo. Por otra parte, la disponibilidad de programas de funcionamiento en la consola puede variar, incluso entre modelos distintos de una misma marca (Figura 6 y la Figura 7).



**Figura 6. Autoactiva del Xsara**



**Figura 7. Proactiva del Laguna**

Las virtudes que ofrecen las cajas automáticas de Renault, Citroen y Peugeot son:

- Retienen el motor bajando las marchas al bajar un puerto.

- No pasan a una marcha superior cuando se levanta el pie del acelerador ante la presencia de una curva, por ejemplo.

- Cambian antes cuando el motor está frío.

- La diferencia de consumos y prestaciones respecto al cambio manual son mínimos y siempre con valores menores en comparación con cualquier otro cambio automático.

- Disponen de bloqueador del convertidor de par que evita el deslizamiento de la transmisión en todas las marchas. Esto supone un ahorro de combustible

- El único pero achacable de los primeras versiones era el número de relaciones disponibles. Sin embargo, hoy en día ya se ofrecen transmisiones hasta con cinco relaciones.

- Existen casos en los que el automatismo se impone por cuestiones de seguridad y confort:

  - Paso automático a la marcha inferior cuando el régimen está próximo a las 1.000 rpm para evitar el calado del motor.

  - Paso automático a la marcha superior a un régimen motor apropiado.

  - Reducción en caso de una aceleración importante.

Mitsubishi

A pesar de no ofrecer un funcionamiento tan eficaz en modo automático como los Proactiva y Autoactiva, es preciso nombrar a la marca pionera de este tipo de cambios. Su incursión comenzó con la transmisión denominada

INVECS y ha derivado en la que es su última evolución: la INVECS II.

La INVECS II es un cambio de cuatro ó cinco velocidades (según modelo) que destaca por una gestión del cambio que se ajusta al estilo de conducción (Figura 8). Es reseñable sobre todo su funcionamiento automático muy rápido y sin brusquedades. No dispone de función *kick-down*.

Si algo distingue al INVECS II, es su funcionamiento ejemplar en modo secuencial, tanto por rapidez, tacto como por gestión. En el manejo secuencial se distingue de otros cambios en rapidez, tacto y gestión. A diferencia de los cambios Steptronic y Tiptronic (se verán más adelante), por poner dos ejemplos, no pasa a una relación superior al acelerar a fondo ni al llegar al corte, y admite reducciones “de verdad” apurando marchas (aunque el sistema sí protege si se pretende hacer una reducción muy brusca). Es decir, en el manejo manual de la palanca es el conductor el que decide en todo momento cuando cambiar.

Para ser pionera en este tipo de transmisiones se ha descrito muy poco sobre sus transmisiones. Lo que ocurre es que Mitsubishi se distingue por ser una de las marcas que menos información da sobre la realización de sus productos.



**Figura 8. Respuesta del INVECS II ante un descenso y una aceleración**

También hay que señalar que todas las cajas con control electrónico son en cierta medida adaptativas. Sin embargo, si por algo se ha incluido este apartado es porque existen ciertas transmisiones (las ya comentadas) que se distinguen aún más del resto al tener una electrónica más depurada. Se podría decir que las que más se acercan al grupo de Proactiva, Autoactiva e INVECS II son las siguientes:

Lexus

Lexus posee un cambio de cuatro ó cinco relaciones (a excepción del RX 300, que lleva cuatro, todas las grandes berlinas disponen de cinco marchas) con pasillo en escalera que permite un manejo rápido e intuitivo.

Existe la posibilidad de preseleccionar tres tipos de funcionamiento (deportivo, normal y nieve) a excepción del RX 300 que únicamente incorpora un único modo de nieve.

Los saltos de marchas son rápidos e imperceptibles, con escasas pérdidas por resbalamiento. Incluso cuando se pisa a fondo para hacer *kickdown*, la respuesta es rotunda pero apenas es perceptible por el oído. Una de las responsables de esta suavidad de marcha y de la adaptación al estilo de conducción es el ECTS-i (sistema electrónico de aceleración inteligente). Este

dispositivo adecua el par motor a las necesidades de cada momento, tomando como base para ello la posición del acelerador, del régimen de giro y de las condiciones de conducción. Así el sistema hace que no se reduzca o suba de marchas de forma constante en cuanto se varía la presión sobre el acelerador además de poder contar con la retención del motor.

### **BMW**

La Steptronic de BMW es un cambio de cinco velocidades con tres programas seleccionables en la consola: económica (E), deportiva (S) e invernal (\*).

La gestión del cambio en modo automático se ha ido depurando a lo largo de las distintas generaciones. Así, la última evolución destaca por la incorporación del llamado Control Adaptable de la Transmisión (AGS). Se trata de un mecanismo capaz de reconocer el estilo de conducción del conductor y de detectar el perfil de la carretera para disponer en todo momento de la relación idónea.

Otros detalles específicos de la transmisión automática son un convertidor de par electrónicamente controlado y un mecanismo de puenteo del convertidor para un contenido comportamiento de consumo.

Los defectos que se le pueden achacar son el control excesivo que ejerce la electrónica sobre el cambio. Por ejemplo, si se llega al corte, se selecciona una marcha más y si se intenta una reducción a un régimen cercano al máximo, el Steptronic lo impide.

Otro cambio de BMW, de reciente factura, es la que dispone para la serie 7. Se trata de la primera transmisión no CVT en disponer de 6 relaciones (su fabricación corresponde a ZF). También es la primera que utiliza la tecnología *shift by wire*. Es decir, no existe palanca de cambio sino una mando integrado en el volante donde elegir las posiciones P, D, R y N. Se puede manejar manualmente mediante pulsadores en el volante. Además, posee un sistema por el que minimiza el combustible al desacoplar casi totalmente el convertidor de la caja de cambios.

### **Lancia**

Denominado Comfortronic, se trata de un cambio automático adaptativo de 5 velocidades con una centralita que controla el cambio según una lógica adaptativa. Analiza las condiciones de marcha del vehículo y el estilo de conducción comparándolos con los estándares memorizados en el software, y elige el programa de funcionamiento que mejor se adapte a la situación del momento y a los deseos del conductor.

Cuando, por ejemplo, se afronta una pendiente de subida, la centralita compara la aceleración real del coche con la teórica que tendría en una carretera llana y calcula la pendiente. En función de ésta selecciona el programa y la relación más adecuada. En cambio, si el coche acelera incluso cuando la válvula de mariposa del motor está cerrada, el sistema “comprende” que el coche se encuentra en una pendiente de bajada y, al pisar el freno por primera vez, reduce para aumentar la acción del freno del motor.

Si las variaciones de carga en el acelerador son rápidas y frecuentes, el cambio Comfortronic reconoce un estilo de conducción nervioso y deportivo. Entonces adecua la velocidad de los cambios y el *kick-down* (reducción para acelerar) de manera automática.

Dos botones situados en la consola, delante de la palanca, permiten que el conductor cambie a placer la lógica de funcionamiento. Se selecciona *sport* para una conducción deportiva o para los recorridos comprometidos, ya que esta lógica destaca las prestaciones del coche y asegura una conducción briosa. En cambio, ice se aconseja cuando el firme presenta una escasa adherencia (por ejemplo con nieve o hielo).

Volvo

Geartronic es la denominación que da Volvo a su caja autoadaptativa de cinco velocidades. En su configuración básica existe sólo el modo automático, pero con la posibilidad de poder disponer de un pasillo secuencial por como elemento opcional.

En funcionamiento automático destaca por la suavidad en los cambios de marcha. En el manual, por el contrario, se distingue de la mayoría de las cajas automáticas-secuenciales en que no cambia de relación en cuanto se llega a la zona roja del cuentavueeltas; tampoco existe función *kick-down*. No existe una electrónica autoprotectora. Lo que si hace es pasar a otra marcha cuando el régimen se acerca al ralentí para evitar calar el motor.

### **Automáticos-secuenciales**

Son aquellas que permiten tanto un manejo manual (secuencial) como automático. Para la elección de uno u otro, se disponen, por lo general, de sendos pasillos o carriles en el mando (Figura 9). El conductor tan sólo debe desplazar la palanca a uno u otro, dependiendo del tipo de conducción que desee realizar.



**Figura 9. Se dispone de un carril para cada modo de conducción**

La característica común de todos ellos es la de disponer de convertidor de par (por tanto, no hay pedal de embrague) y de confiar la labor del accionamiento a unos actuadores electrohidráulicos.

Frente a un cambio totalmente automático convencional, lo que los fabricantes han pretendido con el manejo secuencial ha sido dotar a los mismos de un cierto carácter de deportividad; haciendo más participe al conductor en la conducción del vehículo.

Por secuencial se entiende el tipo de cambio en el que hay una secuencia para variar las relaciones. La palanca de cambios no tiene una posición fija para cada marcha, sino que basta con desplazarla mediante toques arriba y abajo o a los lados para seleccionar las velocidades. Existe también la posibilidad de accionar las marchas desde el volante mediante unas manetas o unos pulsadores. Hay que señalar que Mercedes dispone de un “falso” secuencial en cuanto que se sale de la definición anterior. Ello es porque su mando se utiliza para aumentar o disminuir el número de velocidades que puede engranar el cambio (de una a cinco), no para seleccionar una marcha en concreto.

El nacimiento de los cambios secuenciales tiene su origen en la competición. Fue el ingeniero John Barnard quien, junto a los técnicos de

Ferrari, desarrolló una caja semiautomática para sus monoplazas, que la estrenó Nigel Mansell en el Ferrari 640 en 1989. La idea era acoplar un mando hidráulico a presión junto a un embrague electromagnético a una caja de cambios convencional. Un circuito hidráulico a presión se encarga de desplazar un selector que presiona sobre las horquillas (movidas a su vez por válvulas electromagnéticas) para insertar las marchas que el piloto selecciona mediante pulsadores situados tras el volante. En este caso, el diseño original contemplaba pedal de embrague, pero sólo para dosificar la fuerza del motor en las arrancadas.

Fuera de la competición, el primer cambio de configuración secuencial apareció en 1990 de la mano de Porsche con el nombre de Tiptronic que lo introdujo en el 911. Fue desarrollado entre Porsche (puso la idea), ZF (hizo la caja) y Bosch (se encargó de la electrónica). En 1995 apareció una nueva versión de este cambio denominada Tiptronic S, que contaba además con mandos al volante. A pesar de ello, hay que señalar que, estrictamente hablando, el Tiptronic no es un cambio "secuencial puro" sino más bien un automático al que se le incorpora un pasillo secuencial. Por "secuencial puro" se entiende una caja en origen manual (y no automática) a la que se añaden los mecanismos necesarios para automatizarla: es el cambio robotizado. De él se hablará en un apartado posterior.

Pronto marcas como Audi, BMW, Alfa Romeo, Chrysler..., comenzaron a fabricar sus propias versiones. La principal mejora de los cambios automático-secuenciales ha sido la de afinar el funcionamiento automático. En este sentido, cada vez son más los fabricantes que optan por una transmisión automática autoadaptativa a la que se le añade el pasillo secuencial.

Actualmente la oferta de cambios automático-secuenciales es muy variada. Su proliferación comenzó en las berlinas de lujo, pero ya se ofrecen en las berlinas medias, en los compactos y hasta en monovolúmenes. Algunos de los cambios secuenciales presentes en el mercado se muestran en la Tabla 3.



**Figura 10. Q-System de Alfa**



**Figura 11. Autostick de Chrysler**



Figura 12. Tiptronic S de Porsche

### **Embrague pilotado**

Saab es la marca pionera en este tipo de cambios. Tanto por construcción como por manejo guardan mayores semejanzas con una transmisión manual que con una automática. La razón es que se parte de una caja de cambios manual y se le dota de un dispositivo que se encarga de automatizar el acoplamiento del embrague. Por tanto, no existe pedal de embrague, ni tampoco convertidor de par ni engranajes epicicloidales. La palanca tiene el clásico recorrido en H, de modo que es el conductor el encargado de desplazar las horquillas de selección de las marchas.

Esta solución reduce el trabajo del conductor y, además, aporta dos funciones muy prácticas: el coche no se cala nunca y tampoco se va hacia atrás cuando se arranca en cuesta. También hay ventajas para la mecánica, ya que el sistema alarga la vida del embrague gracias a que la electrónica se encarga de utilizarlo siempre de la forma más correcta. Además, apenas reducen las prestaciones y el aumento de consumo es imperceptible.

El inconveniente de este tipo de cambios es que para insertar las marchas es preciso levantar un poco el pie del acelerador, tal y como se hace con un embrague normal,

Actualmente este tipo de transmisión sólo está disponible en el Mercedes Clase A. La reducida demanda y su escasa diferencia de coste frente a los manuales secuenciales, más completos, han motivado que varios fabricantes lo hayan retirado del mercado, entre ellos:

- Citymatic del Fiat Seicento.
- Freetronic del Toyota Yaris.
- Sensonic de Saab.
- Easy del Renault Twingo. En este caso, se ha sustituido por uno robotizado (se explicará en el siguiente apartado).

### **Mercedes**

El cambio disponible en el Clase A es fruto de la colaboración entre Mercedes y la empresa LuK, en un intento de ofrecer mayor confort, menor

consumo y mayor durabilidad (Figura 13). Partiendo de una transmisión manual, se incorporaron los dispositivos necesarios para la automatización del embrague (Figura 14).

El embrague automático, denominado EKM (Electronic Clutch Managment) posee un actuador electrohidráulico, accionado por una unidad de control electrónica. La comunicación entre el EKM y el motor se logra por medio de un software, rasgo que encamina la transmisión manual hacia la automatización.

La base de su sistema es un embrague autoajutable SAC cuya fuerza de desembrague es aproximadamente 30 por ciento más baja en comparación con un embrague convencional, debido a su capacidad de autoajuste durante su vida útil.

Los elementos que hacen posible el funcionamiento del EKM son:

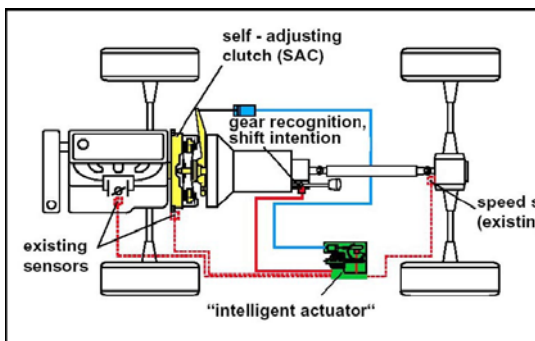
- Un sensor de intención de cambio instalado en la palanca de velocidades y otros dos para el reconocimiento de la velocidad seleccionada (Figura 15).
- Un módulo inteligente, electrohidráulico para el control de la actuación del embrague.
- El embrague SAC.

Este último, en combinación con una estrategia de control inteligente, hace posible la aplicación de un pequeño motor conectado a un sistema de accionamiento hidráulico (dos cilindros hidráulicos) para la activación del embrague. El calculador electrónico en función del tipo de información enviada por los captadores, determina cómo el motor eléctrico debe “pisar” el embrague. Por ejemplo, al arrancar en una cuesta arriba, deja resbalar el embrague más que si se cambia de cuarta a quinta casi sin acelerar.

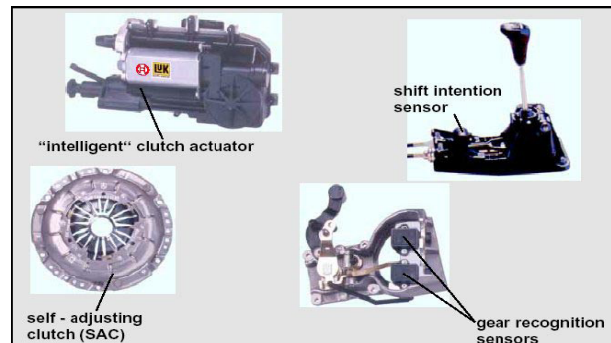
Para usarlo adecuadamente sólo hay que tener en cuenta que es preciso levantar un poco el pie del acelerador para cambiar de marcha (maniobra imprescindible), tal y como se hace con un embrague normal.

Los defectos que se le pueden atribuir son:

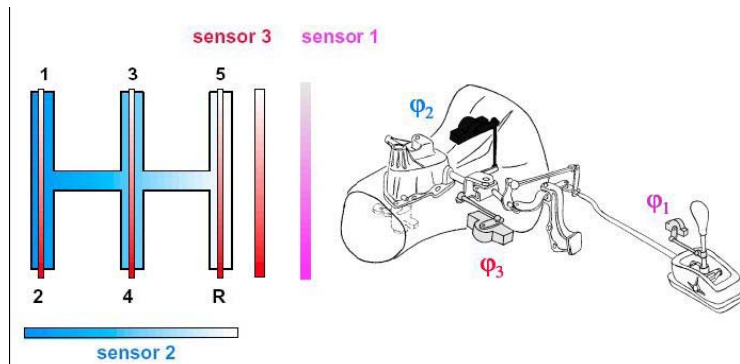
- Hay que acelerar un poco para que el coche empiece a moverse. Por ello, las maniobras como aparcar o moverse entre columnas resultan incómodas (especialmente en cuesta).
- Es imprescindible levantar el pie del acelerador al cambiar.



**Figura 13. Esquema del EKM**



**Figura 14. Dispositivos necesarios**



**Figura 15. Sensores de reconocimiento e intención del cambio**

### Manuales-secuenciales o robotizados

Son una evolución del cambio de embrague pilotado. Si bien en éste lo que se automatizaba era el embrague, ahora se robotizan también las inserciones de marcha. De modo que tampoco llevan pedal de embrague pero a diferencia de los primeros, los cambios ya no los realiza el conductor “a capón”. Por tanto, las cajas robotizadas no son más que transmisiones manuales con los dispositivos necesarios para automatizar las operaciones de cambio de marcha.

Su gran ventaja estriba en que se basa en un cambio manual, de modo que no penalizan las prestaciones y los consumos respecto de aquellos que derivan de las transmisiones automáticas “puras”. Debido a que comparten los mismos elementos mecánicos que una transmisión manual, todos ellos emplean embrague normal (monodisco en seco por lo general) y engranajes cilíndricos.

Los cambios de embrague pilotado, sin el compromiso de mover el pedal de embrague, la mano era a menudo demasiado rápida dibujando la “H” y enturbiaba el funcionamiento final. La finura del embrague, especialmente en maniobras, tampoco permitía demasiada precisión y obligaba, sin querer a aparcas “de oído”.

En las transmisiones robotizadas, en cambio, gracias a que se dispone de acelerador *by wire*, no hace falta desacelerar al cambiar, y al detener el coche, reducen a primera solos. La electrónica se encarga de cortar la alimentación del motor al subir de marcha, o de elevar el régimen de giro al reducir (imitando la técnica punta-tacón).

La mayoría de este tipo de automatismos puede funcionar también como automático e incluso algunos incorporan botones o levas para cambiar desde el volante. La selección de marchas puede realizarse con la palanca mediante toques hacia arriba y abajo (o a izquierda y a derecha, según la marca) o desde el volante por medio de botones o levas.

Salvo algún caso particular, la mayoría de las transmisiones de este tipo utilizan actuadores hidráulicos. El conductor selecciona la marcha y una centralita electrónica envía la orden a una bomba hidráulica que actúa sobre el embrague, mientras que pequeñas bombas mueven los piñones del cambio, insertando la marcha elegida.. Cuando en un apartado anterior se hablaba de “secuenciales puros”, se hacía referencia a las transmisiones de este apartado,

ya que están más cerca de los manuales que los automático-secuenciales estructuralmente hablando (Anejo 1.4). Estos últimos no son más que automáticos al que se le añade un carril adicional para el manejo secuencial.

En los últimos años se ha producido un aumento considerable de los cambios robotizados ocupando prácticamente todos los segmentos del automóvil: utilitarios, compactos, berlinas y, sobre todo, deportivos. A continuación se muestran algunos tipos que se ofrecen en el mercado:

### **Selespeed (Alfa Romeo)**

Cambio de cinco velocidades derivada directamente del cambio del F-1 de Ferrari (el comercial, no el de competición; se hablará de él más adelante). No llega al carácter deportivo de aquella: es más suave y lenta; pero si lo es en comparación con el Q-System. Logra casi los mismos registros en todos los apartados (prestaciones, recuperaciones y consumo) que un cambio manual.

Dispone de dos modos de funcionamiento:

- Secuencial. Desde palanca tradicional o desde botones levas en el volante (derecha para subir e izquierda para reducir). Dentro de este modo tenemos una opción normal (cambio se produce entre 1 y 1,5 segundos) y otro *sport* (en 0,7 segundos) que se activa automáticamente al pasar de 5000 rpm o si superamos el 60% del recorrido del pedal del acelerador. La marcha seleccionada de muestra en un *display* en el tacómetro.
- Automático. Exclusivo para ciudad o conducción relajada al pulsar el botón *city* junto a palanca.

Para pasar de modo automático a secuencial no hace falta parar el coche sino que basta con dar un pequeño golpe a la palanca o pulsar alguno de los botones del volante.

El Selespeed utiliza un sistema hidráulico, en la que una bomba electrohidráulica gestionada por una centralita (de la firma Magneti Marelli) produce la energía para el sistema para poder operar. Todo el conjunto se encarga tanto del embrague como de la marcha. La bomba se activa cuando la puerta del conductor se abre, asegurando disponer de suficiente presión hidráulica para cuando se arranque el motor.

La operación del cambio de marcha es confiada a la labor de tres actuadores:

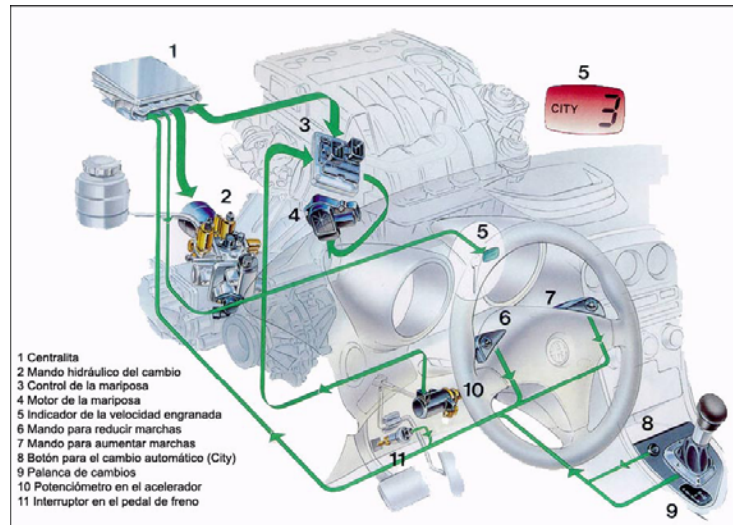
- Uno de ellos se encarga de controlar el embrague, para que en el momento de que se vaya a producir el cambio de marcha, éste se encuentre desembragado.
- Otro se encarga de que engranen.
- El tercero controla la selección de la velocidad, esto es, cual es la relación de marcha que debe meter.

La secuencia de actuación a la hora de cambiar es la siguiente: se corta la inyección, se desembraga, se inserta una relación de marcha y se vuelve abrir gas.

El sistema, gracias a la electrónica, dispone de distintas funciones para proteger el motor, favorecer la seguridad y hacer la conducción más sencilla:

- Impide seleccionar una marcha demasiado larga o corta. Pasa automáticamente a la relación superior cuando se alcanza el régimen máximo.
- En maniobras a baja velocidad, los mandos del volante no envían órdenes.
- Anula el punto muerto al pasar de 40 km/h.
- Paso inmediato de modo *city* a manual cuando se actúa sobre los botones.
- En las maniobras de frenada de emergencia, el sistema Selespeed reduce automáticamente las marchas consiguiendo una fuerza de frenado adicional.
- Para arrancar el vehículo, el coche debe estar completamente parado, el freno pisado e insertar la marcha.
- En modo secuencial se puede cambiar sin levantar el pie del acelerador. Además, al disponer de acelerador electrónico, se puede cortar la alimentación del motor actuando sobre su centralita, de forma que se corta gas al subir de marchas y se acelera ligeramente al bajarlas, a modo de punta-tacón.  
Los puntos negativos del Selespeed son:
- Las maniobras a baja velocidad son al principio complicadas (sobre todo en cuesta) al no poder modular el embrague (hay que ayudarse con el pie izquierdo sobre el freno).
- En modo *city* no es tan suave como un cambio automático convencional si pisamos a fondo el acelerador.
- En modo secuencial el sistema interviene para evitar insertar una marcha demasiado larga o corta. Por tanto, no se comporta como un cambio 100% manual. Además, en este mismo modo es un poco brusco ya que si no se levanta ligeramente el pie del acelerador el motor corta la inyección).
- En carreteras muy viradas es incómodo seleccionar los botones o levas del volante.

En la Figura 16 se muestra los componentes del cambio Selespeed



**Figura 16. Esquema del Selespeed**

### **Cambio del 3L (grupo VAG)**

Audi, VW y Seat ofrecen un cambio pensado exclusivamente para el máximo ahorro de combustible en sus modelos A2 3L, Lupo 3L y Arosa 3L. El cambio, de cinco velocidades, dispone de un pasillo con la posibilidad de manejo secuencial y otro automático.

En la opción automática, con función *kick-down*, existen dos posibilidades desplazando la palanca a la posición E: Normal y Eco (E). La modalidad Eco, pensada para alcanzar los tres litros, es seleccionable mediante un interruptor en el salpicadero y destaca por las siguientes características:

- La gestión electrónica impide que el motor suba de vueltas innecesariamente, buscando siempre la marcha más larga y limitando así el gasto de combustible.
- Cuando se levanta el pie del acelerador, desengrana el motor cayendo a régimen de ralentí; basta con tocar el freno para que vuelva a embragar y aprovechar el freno motor.
- Existe la función de “arranque/parada” que desconecta el motor cuando se mantiene pisado el freno más de tres o cuatro segundos (siempre y cuando no se tenga conectado el aire acondicionado). Al soltar el pedal se vuelve a activar el motor de forma automática. Si durante la marcha el conductor no acciona el acelerador, la electrónica procede al desembrague, el vehículo se mueve en punto muerto y el motor marcha al ralentí. Al pisar el acelerador y alcanzar el régimen adecuado se embragará automáticamente.

Algunos defectos atribuibles a esta transmisión son:

- En el modo automático tiene un funcionamiento lento e incluso molesto por los tirones que da. Esto último debido a la anulación

momentánea del acelerador a la hora de cambiar. Esos cabeceos son evitables en el modo secuencial levantando el pie del acelerador.

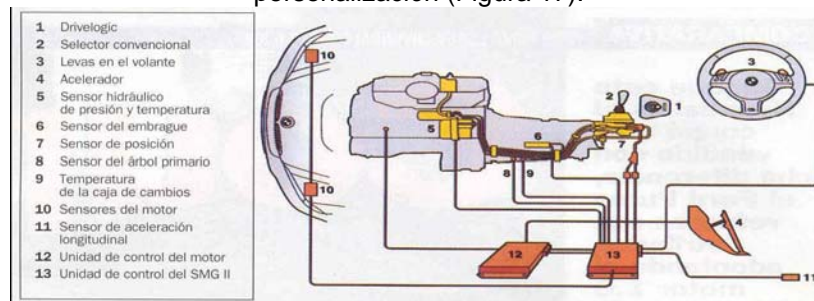
- Como ocurre en el Tiptronic, el control manual está limitado por tres razones: cambia automáticamente a una marcha superior cuando llega al régimen máximo, no permite hacer una reducción que produzca sobrerégimen y selecciona una marcha más corta cuando el régimen baja a un cierto límite para que el motor no se cale.

### **SMG II (BMW)**

Es uno de los cambios más rápidos, sofisticados y efectivos del mercado, no en vano está dirigido a uno de los vehículos más rápidos del mercado: el M3. Entre todos los cambios, es uno de los que más información se ha recabado. No es de extrañar, ya que es propio de BMW volcarse en dar a conocer los productos que comercializan.

Se trata de la segunda evolución del primer cambio SMG (Sequential Manual Gearbox) presentado en el año 1996. BMW ha recurrido a las experiencias acumuladas en las pistas de carreras para desarrollar, junto con las empresas Getrag, Sachs y Siemens, una caja de cambios de 6 velocidades que supera en todo a su antecesora.

Algunas de las novedades que ofrece este cambio son una gestión electrónica más elaborada así como más funciones y posibilidades de personalización (Figura 17).



**Figura 17. Esquema del SMG II**

El cambio incorpora un sofisticado sistema de accionamiento electrohidráulico controlado mediante electroválvulas, cuya misión es accionar el embrague e insertar las marchas. La centralita del sistema SMG detecta la marcha que está puesta mediante un moderno sensor redundante de posiciones. Al efectuar un cambio de marcha, la centralita activa en milésimas de segundo las electroválvulas correspondientes que, a su vez, controlan la hidráulica del sistema. El aceite del sistema hidráulico sometido a alta presión (de hasta 85 bares) fluye hacia el cilindro del embrague a través de una electroválvula para embragar. Entonces las electroválvulas de la unidad hidráulica activan como máximo tres cilindros hidráulicos del actuador del cambio.

La gestión del motor (MS S54) y del cambio están conectadas por un bus de datos de última generación (SMG-CAN) que a su vez acoge otros sensores encargados de posibilitar tales funciones como “Ayuda en cuesta” o “Ayuda en aceleración” (se describirán más adelante).

Once son los sensores incluidos en la red del CAN-bus. Estos son indispensables para la ejecución de funciones especiales, como por ejemplo:

- Ayuda de arranque en cuesta. Durante dos segundos se mantiene el motor a 1500 rpm con el embrague bloqueado al pulsar la leva izquierda durante más de un segundo.
- Ayuda de aceleración. Únicamente disponible en el nivel 6 del modo secuencial (se explica más adelante). Permite la mayor aceleración desde parado sin que patinen las ruedas. Hay que presionar sobre la palanca hacia delante y mantenerla en esa posición, pisar a fondo y cuando queramos arrancar soltar la palanca.

La operación de cambio de marchas se ejecuta posicionando el árbol primario con máxima precisión para desplazarla hacia adelante o atrás con el fin de poner la marcha seleccionada. Esta operación es igual en las modalidades automática y secuencial. En caso de fallar un procesador de la unidad de mando de la caja de cambios, el sistema recurre de inmediato a las señales del procesador que funciona en paralelo, con lo que siempre se garantiza el buen funcionamiento del sistema.

Todos los elementos de mando de la caja SMG funcionan *by wire*, con lo que reaccionan con gran rapidez y seguridad, sin conexiones mecánicas.

Otra de las mayores innovaciones del cambio es el sistema Drivelogic. Este permite al conductor elegir entre varios programas de funcionamiento (seleccionables mediante una tecla al pie de la palanca) en las dos modalidades existentes:

- Automática (A). Incorpora 5 leyes de funcionamiento. En la A1 siempre se arranca en segunda. Existe también la función *kickdown* para conservar la capacidad de respuesta en caso de necesidad (Figura 18).
- Secuencial (S). Dispone de 6 leyes. Se puede actuar tanto desde la propia palanca como desde el volante por medio de unas levas. La leva derecha sube de marchas y la izquierda reduce (Figura 19).

La elección entre las distintas leyes, tanto en automático como en manual, depende de si se prefiere realizar una conducción relajada (nivel más bajo) o una conducción dinámica (nivel más alto). Los cambios más rápidos se realizan en la ley S6, donde la operación de embragado y desembragado se lleva a cabo en 80 milésimas de segundo. Este nivel sólo es seleccionable tras desconectar tanto el control de tracción como de estabilidad (el fabricante asegura que está pensado únicamente para rodar en circuitos). Para pasar del modo automático al secuencial, basta con desplazar la palanca a la izquierda con un simple toque.

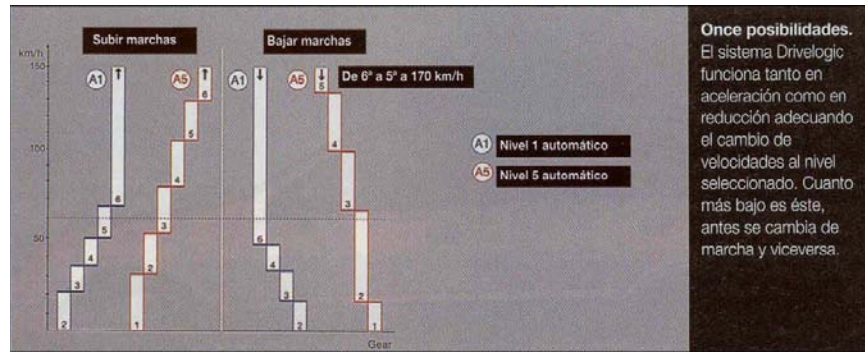


Figura 18. Diferencias entre las leyes del modo automático

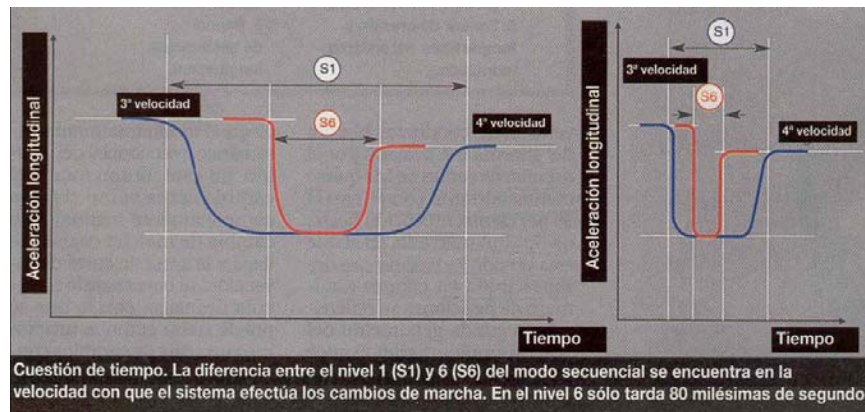


Figura 19. Diferencias entre las leyes del modo secuencial

En la modalidad S, el funcionamiento es completamente manual, de modo que no cambia cuando llegamos al corte de inyección, ni reduce cuando se circula despacio. El único automatismo que dispone es aquél que hace insertar la primera al parar el vehículo.

Pulsando varias veces las teclas o desplazando varias veces seguidas la palanca es posible pasar por alto varias marchas. Sin embargo, el sistema electrónico ejecuta estos cambios únicamente si lo permiten las revoluciones del motor. Ello significa que es imposible revolucionar demasiado el motor.

Algunas funciones que incorpora el cambio son:

- Si se detecta que las ruedas posteriores patinan al reducir de marcha, el sistema actúa sobre el embrague para evitar el sobreviraje.
- Durante cuatro segundos evita que se ponga en movimiento el coche mientras la puerta del conductor está abierta (por ejemplo, al cambiar de conductor). Si durante esos cuatro segundos no se pisa el pedal del freno o del acelerador, la caja cambia a punto muerto hasta que el conductor elija una marcha. Además, si se deja abierto el capó del motor, tampoco se puede poner en movimiento el coche.

- El motor sólo se puede poner en funcionamiento pisando el freno y estando la palanca en la posición 0 (punto muerto). Además, el *Shift-Lock* se ocupa de evitar que el conductor ponga involuntariamente una marcha sin pisar el freno.
- Para poner la marcha atrás hay que mover la palanca hacia adelante y la izquierda, igual que en la caja manual. Al aparcar con una marcha puesta, el coche no puede empezar a rodar involuntariamente.
- Al reducir, la gestión electrónica acelera ligeramente el motor a modo de doble embrague para lograr suavidad y progresividad.
- Una serie de diodos luminosos entran en acción cuando está activada la modalidad secuencial, indicando cuál es el momento óptimo para cambiar de marcha en función de las revoluciones del motor.

Los pocos defectos que se le pueden atribuir a esta transmisión son:

- Once son demasiadas leyes ya que la diferencia de cada una con la inmediata superior no es tan palpable y además el conductor puede despistarse “jugando” con el selector de niveles.
- En el modo automático, si no se levanta el pie del acelerador cuando el sistema va a cambiar de marcha, se produce un ligero cabeceo del coche.

Además de la transmisión descrita, BMW dispone también de otro cambio robotizado con la misma denominación (SMG) pero dirigida a modelos “más civilizados” que el M3. Se trata de una caja de cinco relaciones, fabricada por ZF y con electrónica procedente de Magneti Marelli.

Al igual que la SMG II, deriva del primer cambio SMG fabricado por BMW. Sin embargo, no se busca una especialización tan eficaz en conducción deportiva como aquella. De hecho, los cambios de marcha en el primero se producen en 150 milésimas de segundo, por 80 milésimas en el SMG II

Además, mientras éste dispone de once programas, el SMG se conforma con 2, normal y deportivo.

La mejora en cuanto a rapidez de cambios y suavidad de funcionamiento respecto al primer SMG es grande. A pesar de ello, en ningún caso se llega al confort de marcha de un cambio automático con convertidor de par, por ejemplo el Steptronic.

Como la SMG II, combina una modalidad manual dirigida desde las levas del volante o la palanca tradicional (con un golpe de gas a modo de puntatácón en reducciones), con una completamente automática. No obstante el desacoplamiento pilotado del embrague supone un lapso que genera cierta molestia o, como poco, exige un periodo de adaptación.

Para el tipo de vehículo al que va dirigido, decepciona en cuanto al

exceso de protecciones y el intrusismo de la electrónica en las órdenes del conductor (por ejemplo, el sistema inserta una marcha superior al llegar al régimen máximo).. Muestra unas transiciones más lentas a la hora de subir marchas, pero lo peor de todo es la inclusión de la función *kick-down* en el modo manual.

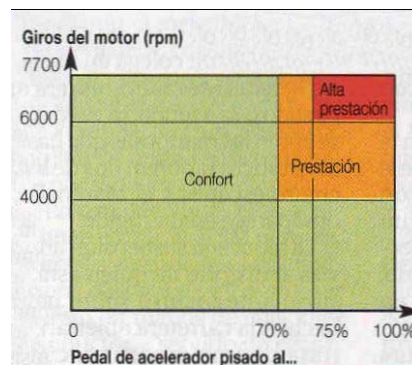
### **Cambio F-1 (Ferrari)**

El recientemente aparecido modelo 575M Maranello, ofrece la última evolución de la caja de cambios F-1. Se trata de una transmisión de seis velocidades con la posibilidad de un doble manejo:

- Secuencial. Los cambios se pueden realizar bien a través del mando o por medio de unas levas en el volante. Existe un modo *sport* para conducción deportiva (Figura 20).

- Automática.

Incluye un modo de arrancada bautizado como *launch control*, en el que es preciso desconectar el control de tracción (ASR), mantener el pedal de freno pisado con el pie izquierdo y activar el modo *sport* de la suspensión-gestión del cambio. En estas condiciones el embrague sólo se libera al soltar el freno, al régimen de motor que se fije con el acelerador



**Figura 20. Respuesta en modo sport**

Con el modo *sport* activado y pisando el acelerador en más del 75% de su recorrido, los cambios se suceden en 80 milésimas de segundo

### **Sequentronic (Mercedes)**

Transmisión de seis marchas con control electrónico de Magneti Marelli. Lógica desarrollada por la propia Mercedes.

El cambio permite dos modos de uso:

- Secuencial por medio de toques longitudinales.
- Automático Auto-Shift.

El cambio en modo pausado se realiza en menos de 1 segundo y en conducción deportiva en menos de 0,5 segundos.

Una unidad hidráulica es la encargada de insertar las marchas y de actuar en el embrague. Unos sensores determinan en todo momento los movimientos del embrague y de los árboles de mando, y la marcha que se

encuentra acoplada. Todos los datos y señales van a un microprocesador, que además procesa la información sobre el régimen de giro del motor, el par, la velocidad de las ruedas y el funcionamiento de los frenos.

Una vez que se abre la puerta del conductor, la unidad electrónica de control se pone en funcionamiento. Cuando se enciende el motor, el sistema hidráulico toma la presión necesaria para permitir al conductor mover la palanca al punto muerto N o a + para poner primera, si bien para ello se debe presionar el pedal del freno por seguridad. Una vez que se suelta el freno, el embrague entra en acción y el coche comienza a avanzar respondiendo a las órdenes del acelerador.

La marcha atrás se selecciona colocando la palanca en la posición “R”, operación que el sistema acepta cuando el vehículo está detenido o avanzando a una velocidad inferior a los 5 km/h.

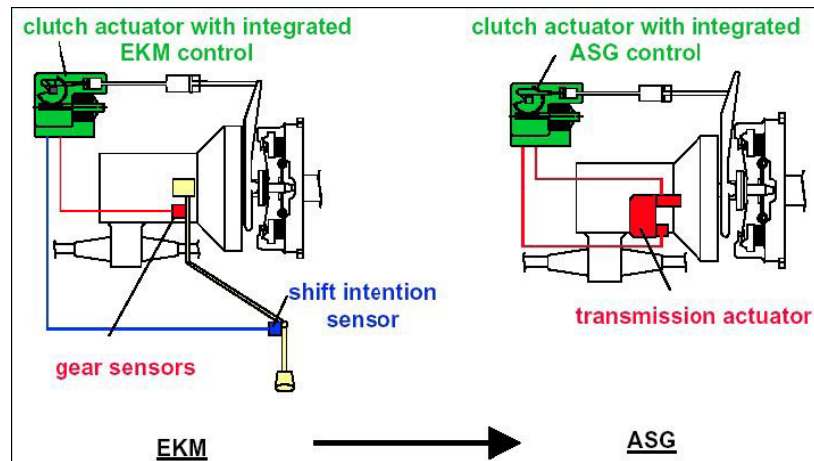
La electrónica interviene para salvaguardar la mecánica y facilitar la conducción en los siguientes casos:

- Protege el motor: si supone que el régimen al que queda el motor es demasiado bajo, reduce, y si entramos en la zona roja (6000 rpm) y no hemos seleccionado la marcha superior, lo hace por nosotros.
- Inserta automáticamente la primera al detenernos.
- Da un pequeño golpe de gas a modo de doble embrague para facilitar las reducciones.

Algunos defectos achacables son:

- En modo automático no tiene la suavidad de un cambio con convertidor de par.
  - Es incómodo cuando se cambia a un régimen alto, situación en la que es imprescindible levantar el pie del acelerador totalmente para minimizar las sacudidas.
  - En modo secuencial el cambio no es totalmente manual, sino que se impone la electrónica en algunas ocasiones.
- Easytronic (Opel)

Se toma como base de partida la transmisión del Clase A (embrague pilotado), se le añaden los dispositivos necesarios para automatizar la inserción de las marchas y el resultado es el ASG (Auto Shift Gearbox) o Easytronic (Figura 21). El fabricante es el mismo al que recurre Mercedes: LuK.



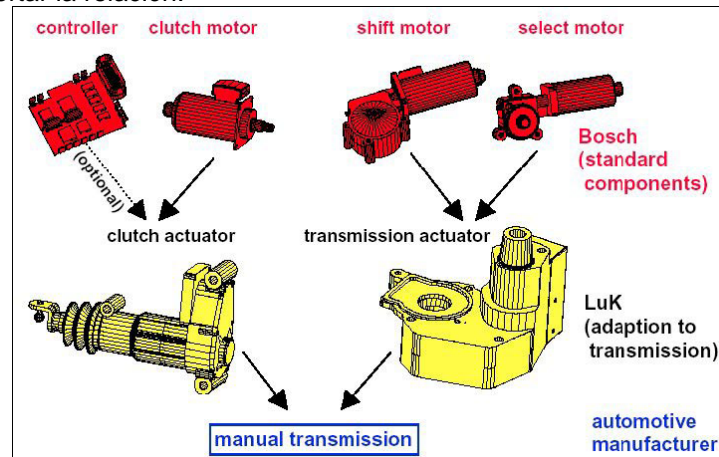
**Figura 21. Paso del EKM (embrague pilotado) al ASG (caja robotizada)**

La caja de cinco velocidades permite un doble manejo:

- Automático. Dispone de función *kick-down*.
- Secuencial mediante toques longitudinales. También en este modo se conserva la función de *kick-down*.

Como se vio en el caso de la transmisión EKM, el origen de la energía provenía de un motor eléctrico para el acoplamiento del embrague. En el caso del Easytronic se utilizan tres motores eléctricos (Figura 22). A cada uno se le encomienda una función:

- Acoplar y desacoplar el embrague.
- Seleccionar la marcha adecuada desplazando los trenes de engranajes
- Insertar la relación.



**Figura 22. Se utilizan tres motores eléctricos**

### **Quickshift 5 (Renault)**

Transmisión de 5 marchas producido por Renault conjuntamente con Magneti Marelli (como en Alfa, Ferrari y Mercedes).

Permite dos tipos de manejo:

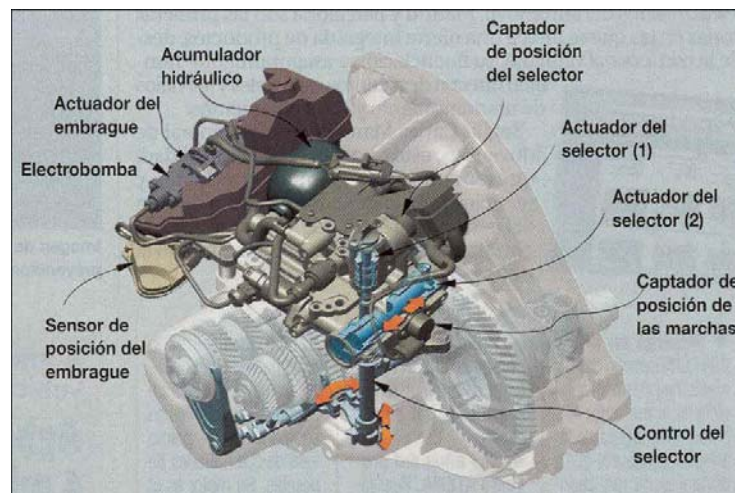
- Impulsional. La caja robotizada de Renault no es sólo secuencial

sino impulsional, es decir, permite saltar marchas mediante impulsos seguidos tanto al subir marchas como al reducir.

- Automático. La gestión es la correspondiente a la Proactiva, o sea, autoadaptativa. De modo que el calculador de la caja selecciona la relación ideal a partir de una serie de datos de entrada: velocidad, aceleración o deceleración del vehículo, estilo de conducción, la forma en que se pisan, sueltan los pedales de acelerador y freno, el perfil de la carretera, etc.

El paso de modo manual a modo automático (y viceversa) se realiza mediante una simple presión en el “interruptor de modo” cerca de la palanca de cambios. El cambio de automático a manual se obtiene mediante un simple impulso hacia adelante o hacia atrás de la palanca. La marcha atrás se engrana mediante dos impulsos sucesivos, uno hacia la derecha y otro hacia atrás, manteniendo mientras tanto pisado el pedal de freno.

La caja dispone de un módulo que es el que posibilita las funciones de embrague, desembrague y cambio de marchas. Dicho módulo consiste en un robot con cilindros hidráulicos. Estos reciben las órdenes del calculador de la caja de cambios, que tiene una serie de sensores para averiguar el tipo de conducción practicada. Un grupo electrohidráulico se encarga de proporcionar la energía suficiente para mover los elementos mecánicos necesarios que accionen cambio y embrague. El módulo de control del cambio y el de gestión del motor están conectados mediante uniones multiplexadas. El acelerador es electrónico. En la Figura 23 se observa los elementos que forman parte del Quickshift 5.



**Figura 23. Quickshift 5**

En el momento del cambio de velocidades, el calculador de la caja actúa sobre el calculador del motor y gestiona el par motor entregado de tal manera que el cambio se produce con suavidad.

La caja Quickshift 5 dispone de algunas funciones que facilitan la conducción y otros que minimizan errores:

- El módulo electrónico impide que se produzca un sobrerégimen que dañe el motor en las reducciones, aunque, si se estira el motor al máximo, el cambio no opta por la marcha superior y

permite llegar al corte de inyección.

- Pasa a una marcha inferior automáticamente si detecta frenado o tirones por bajo régimen; o a primera, si se rueda a menos de 7 km/h.
- Dispone de una función denominada “*kick* dinámico” que consiste en realizar un paso a relaciones inferiores cuando se detecta una situación de emergencia (frenazo, adelantamiento...). Se pretende así, reforzar el aspecto dinámico y salir airoso de una situación comprometida.
- Para facilitar las maniobras de aparcamiento, la caja viene equipada con una funcionalidad de “Mantenimiento en rampa”. Mediante esta técnica, en primera o en marcha atrás, el coche avanza por sí mismo en cuanto se suelta el pedal de freno o el freno de mano. Esta función permite mantener el vehículo en una pendiente ligera.
- Realiza el punta-tacón en las reducciones.
- Para pasar a marcha atrás y de ésta a primera, hay que pisar el freno.

Contrariamente a lo que sucede en una caja de velocidades automática, la caja Quickshift 5, no dispone de la posición *parking*. Por tanto, esto en los aparcamientos exige la utilización del freno de mano. Algunas de las posibles mejoras del Quickshift 5 son:

- En modo automático si se conduce acelerando un poco, se producen cambios continuos de marcha, como si el cambio no acertase a situarse en una determinada. En este modo, las operaciones de cambio son lentas: la documentación oficial reconoce que muchos segundos se quedan en la arrancada y varias décimas en cada marcha, con respecto al cambio convencional.
- A pesar de que el cambio de marchas se puede realizar sin levantar el pie del acelerador (el sistema corta la inyección), en estas circunstancias el sistema se toma su tiempo con lo que resulta bastante lento. Además, se perciben pequeños tirones (traducidos en forma de picos en la Figura 24) nada más completarse el cambio. Lo más cómodo y eficaz es levantar el pie del acelerador.



**Figura 24. Comparativa entre el Easytronic (gráfica superior) y el Quickshift 5 (gráfica inferior). Aceleración a fondo en modo automático SMT (Toyota)**

Caja de cinco velocidades que a diferencia del resto de cambios robotizados, ofrece un único manejo secuencial. Éste se puede realizar desde:

- Palanca, mediante toques longitudinales.
- Pulsadores en el volante: los delanteros para reducir y los traseros para subir de marchas.

El cambio SMT de Toyota utiliza también un sistema de actuación hidráulico gobernado electrónicamente. La gestión electrónica de la transmisión y del motor trabajan conjuntamente intercambiando información que reciben de distintos sensores. La información obtenida sirve para actuar adecuadamente y en el tiempo preciso sobre el embrague y las horquillas de selección. Un estrangulador electrónico permite seleccionar correctamente la velocidad del motor para cambiar de marcha.

La palanca del cambio, con sus dos posiciones, actúa como un interruptor, enviando señales eléctricas al ordenador de la caja de cambios. La marcha insertada se muestra en una pequeña pantalla LCD sobre el tacómetro.

Dispone de una serie de funciones que protegen el motor y otras que hacen la conducción más fácil:

- El control electrónico impide meter la marcha atrás mientras el vehículo va hacia delante. También se evita una reducción demasiado brusca que ponga en aprietos a la mecánica. En estos casos, un avisador acústico y un indicador luminoso avisan de que el sistema de protección del motor está actuando,
- Vuelve automáticamente a primera siempre que el coche se pare y se mantenga en marcha, permitiendo salir rápidamente y sin problemas en los semáforos. Para arrancar el coche, el cambio debe estar en punto muerto y el freno pisado.
- Anula el acelerador cuando la marcha se ha engranado y hace doble embrague en las reducciones para favorecer la inserción de las marchas.

Como es habitual en este tipo de cambios, conviene levantar el pie del acelerador para cambiar, de lo contrario el tiempo de respuesta es mayor y se producen pequeños tirones.



**Figura 25. Caja de cambios del Smart**

### **Variador continuo**

Los variadores continuos no son una idea nueva, sino que ya se han venido utilizando desde tiempo atrás en ciclomotores y pequeñas motocicletas. Sin embargo, su utilización dentro del automóvil sí es más reciente debido a las limitaciones con las que se han venido encontrando los fabricantes para manejar pares mayores.

Constan básicamente de dos poleas de garganta variable (cada una formada por dos elementos cónicos), una solidaria con el motor y la otra con las ruedas. El movimiento de la polea primaria se traslada a la secundaria por medio de un elemento de transmisión que es fuertemente presionado por las paredes de los conos. Al ser este elemento inextensible, la apertura de una de las poleas implica la reducción del diámetro de la otra. Debido a que existen infinitas posiciones de las poleas, se dice que los cambios de variador o CVT tienen infinitas marchas. Incluso algunos fabricantes de este tipo de automatismos ofrecen la posibilidad de disponer de un número fijo de velocidades al bloquear la correa (o cadena) en un lugar determinado.

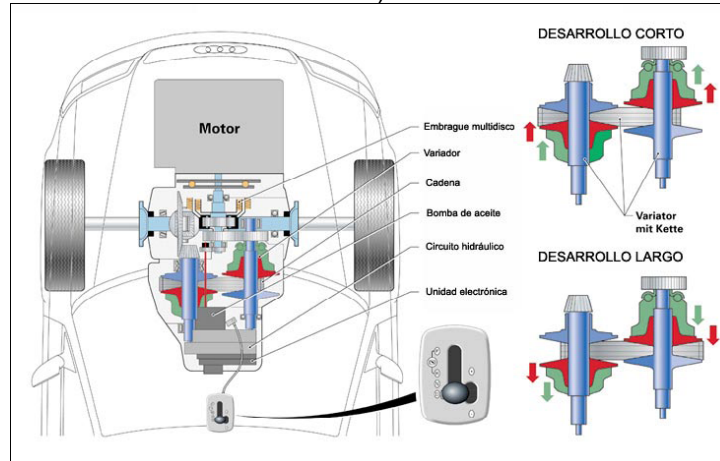
Las principales ventajas de este tipo de cambios son el mejor aprovechamiento de las capacidades del motor y la suavidad de funcionamiento debido a la ausencia de cambios de marcha.

En los últimos años ha habido varios intentos de realizar cambios de variador continuo para el automóvil, pero siempre limitados a utilitarios (Nissan Micra CVT o Lancia Y, por ejemplo) con motores pequeños. Las razones eran el problema de la correa para transmitir el par y el peculiar funcionamiento (ruido) que no hacía agradable su conducción.

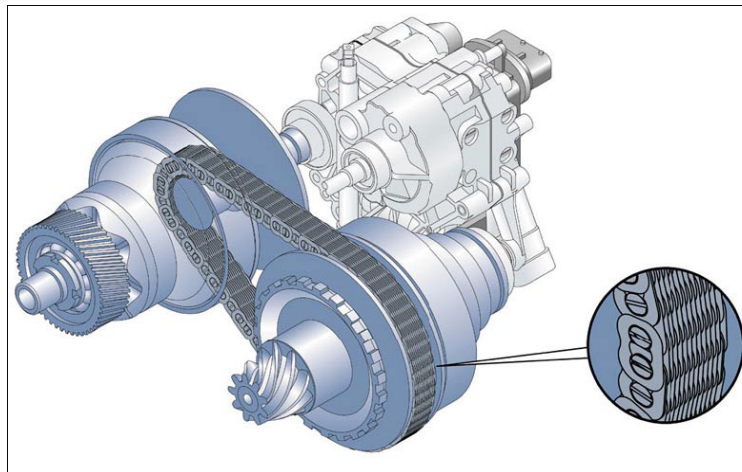
Hoy en día, sin embargo, se puede decir que nos encontramos ante la resurrección de este tipo de transmisiones. Si bien actualmente, marcas como Fiat, Nissan y MG comercializan este tipo de cambios, ha sido Audi, con su Multitronic, la que ha vuelto a popularizar el cambio de variador continuo.

### **Multitronic**

Tomando como punto de partida las CVT anteriormente citadas, Audi se puso como meta dar un salto de calidad y convertirse así en la referencia de este tipo de transmisiones. El resultado se llama Multitronic (Figura 28 y Figura 29).



**Figura 28. Variación de desarrollos del Multitronic**



**Figura 29. Poleas y cadena**

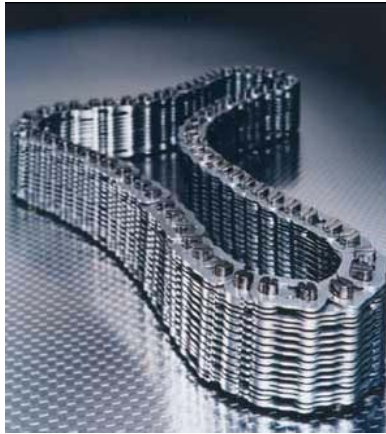
Se trata de una transmisión fabricada por la empresa Luk, actualmente la más elaborada, sofisticada y eficaz del mercado.

Se permite un doble manejo del cambio:

- Automático. Se ha desarrollado una gestión con cierta capacidad adaptativa. Reconoce la forma de conducir y el perfil de la carretera, escogiendo los desarrollos más adecuados en cada momento. Audi lo llama DRP (Programa Dinámico de Regulación).
- Secuencial. Mediante palanca tradicional o con mandos al volante. Para ello se fijan seis posiciones concretas de las poleas del variador.

Audi con su novedosa transmisión ha logrado doblar la frontera de los 15 kgm, situándolo en los 30 kgm. La clave principal de esta superación está en el elemento de transmisión. El Multitronic no monta una correa metálica sino una cadena (Figura 30), cuya configuración rompe por completo con las correas utilizadas hasta el momento. Sus características son:

- Peso: 1,8 kg.
- Longitud: 715mm.
- Ancho: 37mm.
- Formada por 1025 eslabones planos (de los cuales tiran 28 en paralelo) en varias capas, unas junto a otras, y unidos por 75 pernos en sus puntos de articulación transversales
- Los eslabones son de acero de diferentes durezas y tamaños.



**Figura 30. El elemento de transmisión: la cadena**

El elemento de transmisión es fuertemente presionada por las paredes de los conos. Las poleas aprietan a los eslabones con una presión de hasta 6,6 toneladas. Esta cadena es especialmente importante, ya que transmite la carga total de uno de los ejes de la transmisión al otro y, lo que es más, sin existir fuerzas de tracción. Tan sólo su fricción sobre las superficies cónicas de ambas poleas es capaz de transportar la carga. Audi se ha decidido por la cadena de láminas en lugar de por la correa articulada, habitual en las transmisiones continuas CVT. El deslizamiento resultante entre cadena y poleas es tan reducido que los pernos, durante la vida de la transmisión, tan sólo se desgastan como máximo de una a dos décimas de milímetro.

Esta cadena de láminas ofrece, además, la ventaja de que su recorrido puede ser inferior al de otras correas articuladas. Incluso al recorrer el más pequeño diámetro de enlace, posee la facultad de transmitir las fuerzas máximas y los pares de motor. En esa situación, solamente hay nueve pasadores en contacto con las superficies interiores de las poleas, pero la presión específica es tan grande que también en caso de una gran carga no resbalará

El sistema hidráulico tiene dos funciones:

- Presionar suficientemente las poleas contra la cadena para evitar el resbalamiento.

– Variar el diámetro de las poleas.

En los cambios de variador existentes hay un sólo sistema hidráulico para estas dos funciones. El Multitronic los tiene separados. Así, la variación del diámetro es más rápida y requiere menos energía.

La parte hidráulica del cambio ajusta la presión de las poleas con gran precisión en función del par transmitido, para evitar desgastes y tensiones innecesarias. Para esto último, existe un sensor de par que informa sobre la presión que es necesario ejercer sobre la cadena, ya que no siempre debe ser siempre la misma.

El sensor de par trabaja de modo similar a una válvula de limitación de presión: se torsiona de tal modo a través del momento variable de entrada que cierra o abre los taladros de alimentación de la hidráulica. Así, se genera automáticamente un equilibrio entre el par motor que se transmite y la fuerza de presión. Este hecho supone un requisito esencial para la reacción extraordinariamente rápida del variador sobre todas las modificaciones de tracción así como una prevención ante el aumento inmediato de la presión de empuje, por ejemplo, en caso de golpes en el tren motriz, convirtiéndose de este modo en un mecanismo de seguridad ante irregularidades de todo tipo. Esto permite además un ahorro de energía ya que la bomba hidráulica proporciona únicamente la presión necesaria.

La hidráulica trabaja sobre ambos pares de los discos cónicos del variador según el principio de doble émbolo. Mientras que el émbolo empujador con la mayor superficie operante impide que la cadena de láminas resbale, el émbolo empujador con la menor superficie ejerce fuerza adicional sobre el disco correspondiente cuando ha de ser modificada la desmultiplicación. Los sistemas hidráulicos de ambos pares de discos se pueden relacionar entre sí por medio de la bomba de aceite y las válvulas de regulación. De modo que solamente se deben desplazar de una parte a otra volúmenes reducidos de aceite y únicamente se necesita aplicar la diferencia de presión correspondiente. Este es el motivo por el cual el variador Audi reacciona instantáneamente ante cualquier orden de gestión, lo que no sucede en las transmisiones CVT “convencionales”.

El Multitronic no posee una única bomba grande sino dos más pequeñas adaptadas al sistema: una bomba de engranaje interior produce la presión para el empuje de los discos cónicos así como la fuerza adicional para variar la transmisión y una segunda bomba eyectora proporciona a los discos del embrague la cantidad de aceite necesaria con solamente la presión suficiente para llegar al lugar de la refrigeración (el cambio cuenta con un circuito de refrigeración del aceite). Esta trabaja según el llamado principio Venturi y toma la cantidad necesaria de aceite por medio de un eyector conformado especialmente para cumplir dicha función, sin consumir mucha energía para el aumento de presión.

La bomba de engranaje es comparativamente pequeña ya que solamente debe desplazar de un lado para otro el pequeño volumen de aceite que se halla en las cámaras de presión. La presión a la que está sometido dicho aceite va desde 20 bares (funcionamiento normal) hasta 60 bares (máximo). En general, este sistema de bombas requiere una potencia que es aproximadamente la mitad de la necesitada tradicionalmente.

Una de las grandes ventajas del sistema Multitronic es que no tiene convertidor de par. Audi ha reemplazado este elemento por un embrague multidisco en baño de aceite controlado electrónicamente. Esto permite implementar diferentes modos de arrancada en función de las lecturas que lleguen del pedal del acelerador. Si, por ejemplo, el conductor desea iniciar la marcha pensando en el consumo adapta el régimen del motor de una forma absolutamente suave; si, por el contrario, busca una conducción más deportiva, regula rápidamente en el margen del par de motor más alto.

Otra de las ventajas del Multitronic es la amplia relación entre la mayor y la menor desmultiplicación posible en la transmisión (de 1:2,1 hasta 1:12,7) siendo, de este modo, superior a seis, lo cual representa casi un caso ideal para la transmisión que hasta ahora apenas sobrepasaba un valor de 5.

Gracias a esta característica, por una parte, se puede acelerar de forma deportiva y dinámica, debido a la mayor desmultiplicación posible y, por otra parte, se puede aprovechar completamente la menor desmultiplicación para potenciar el ahorro de combustible.