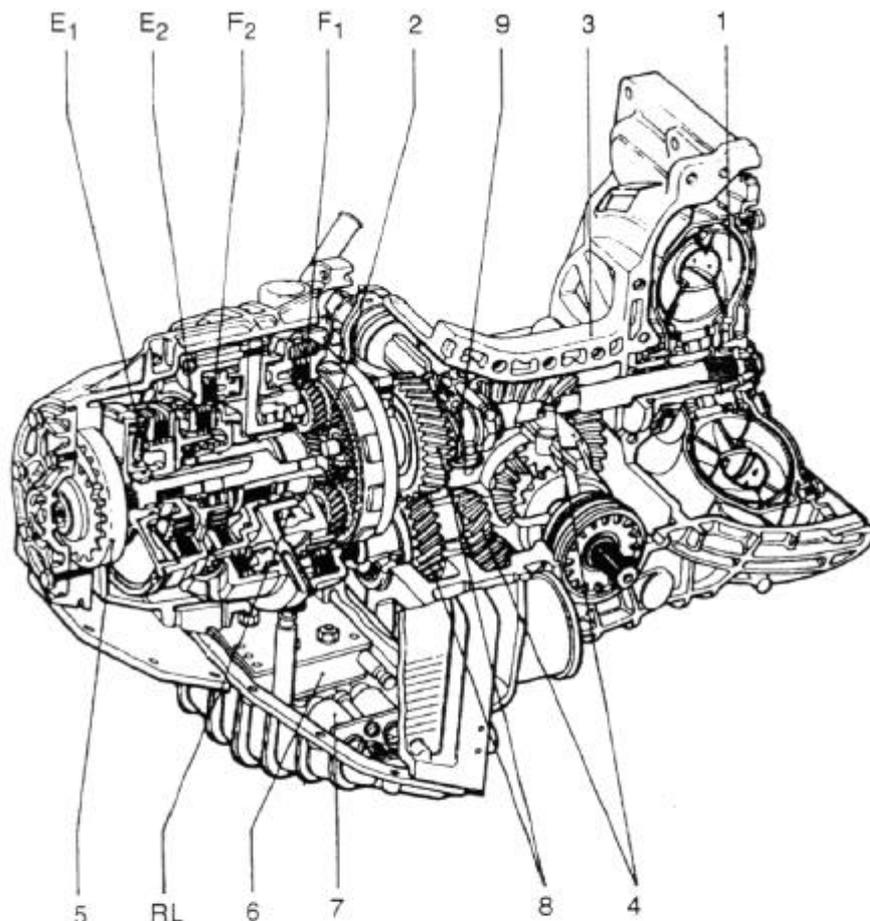


TRANSPORTES

CAJAS DE CAMBIO AUTOMÁTICAS



- 1.- Convertidor de par
- 2.- Tren epicicloidal y sus elementos
- 3.- Cáster de diferencial
- 4.- Piñón de ataque - Corona
- 5.- Bomba de aceite
- 6.- Distribuidor hidráulico
- 7.- Electropilotos
- 8.- Piñones de descenso
- 9.- Tornillo sin fin del mecanismo regulador

- E₁ Embrague
- E₂ Embrague
- F₁ Freno
- F₂ Freno
- RL Rueda libre del tren epicicloidal

Iñaki Aliaga Bereziartua
Iñaki Anso Otaegi
Juan de Lasala García
Eduardo Manso García

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- CONVERTIDORES DE PAR.....	3
2.1.- EMBRAGUE HIDRÁULICO.....	3
2.2.- CONVERTIDOR DE PAR.....	4
3.- LA PALANCA DE MANDO	5
4.- TRENES EPICICLOIDALES	6
5.- ELEMENTOS MECÁNICOS DE MANDO.....	8
5.1.- EMBRAGUES	8
5.2.- FRENOS	8
5.3.- RUEDA LIBRE	8
5.4.- RUEDA DE APARCAMIENTO.....	9
6.- SISTEMA HIDRÁULICO	10
6.1.- ELEMENTOS HIDRÁULICOS DE MANDO.....	10
6.2.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	12
7.- CAJA DE CAMBIOS SEMIAUTOMÁTICA	14
8.- CAMBIO AUTOMÁTICO POR VARIADOR CONTINUO (CVT)	16
9.- ANÁLISIS DE CAJAS DE CAMBIO COMERCIALES	18
9.1.- TENDENCIAS ACTUALES EN CAJAS DE CAMBIO AUTOMÁTICAS	18
9.2.- CLASIFICACIÓN DE LAS CAJAS DE CAMBIO COMERCIALES	18
9.2.1 <i>Audi Multitronic</i>	19
9.2.2 <i>Alfa Romeo Selespeed</i>	20
10.- BIBLIOGRAFÍA.....	21

RESUMEN

Este trabajo explica el funcionamiento mecánico e hidráulico de las cajas de cambios automáticas, sin profundizar en la electrónica que es la que controla todo. Para empezar la introducción justifica la necesidad de la caja de cambios en cualquier automóvil de motor térmico. En el siguiente se explica el funcionamiento del convertidor de par, elemento característico de las cajas de cambio automáticas que hace la función análoga a la del embrague de las cajas manuales.

Los próximos tres apartados (3-5) tratan de los elementos mecánicos que intervienen en las cajas de cambio automáticas. Así los trenes epicicloidales (4) que tienen un giro redundante son la clave para conseguir distintas relaciones de cambio mediante frenos (5.2) que actúan para eliminar el giro sobrante y embragues (5.1) que sirven para conectar el eje de salida del convertidor de par a la entrada a la caja adecuada.

Parte de los elementos mecánicos comentados son controlados mediante un controlador electrónico que actúa gracias a un sistema hidráulico. Los elementos de dicho sistema así como su funcionamiento son el objeto del sexto apartado.

Una vez analizada la caja de cambios automática se continúa comentado otras cajas no manuales como son las cajas de cambio semiautomáticas (7) y el cambio por variador continuo CVT (8). Finalmente, en el noveno apartado, tras exponer las tendencias actuales de las cajas automáticas, se realiza una clasificación de las cajas de cambio comerciales y se analizan dos casos concretos.

1.- INTRODUCCIÓN

¿Por qué los automóviles necesitan una caja de cambio de velocidades?

La potencia y el par desarrollados por los motores térmicos varían en función del régimen de giro. Normalmente el mayor par motor se obtiene a un régimen inferior al de la mayor potencia. La potencia de un motor varía fundamentalmente con el régimen.

En la figura se representan las curvas características de potencia y par motor en función del régimen de giro. Se observa que el par motor máximo se obtiene a 3000 rpm, mientras que la potencia máxima a 5400 rpm.

Si el motor está trabajando en el intervalo fijado por esas dos velocidades de giro y aumenta la resistencia a vencer en la marcha del vehículo (ejemplo: subir una cuesta), se provoca una disminución de la velocidad de régimen, pero también un aumento del par motor desarrollado. Esto lleva a una nueva condición de equilibrio a un régimen más bajo, por lo que se dice que el funcionamiento del motor es estable en el intervalo 3000-5400 rpm.

La velocidad de 3000 rpm es el límite inferior de estabilidad de este motor. Si el motor está trabajando a un régimen inferior y aumenta la resistencia a vencer en la marcha del vehículo, el régimen del motor cae, esto hará disminuir el par y la potencia desarrollados. Por ello el motor se irá decelerando poco a poco hasta calarse.

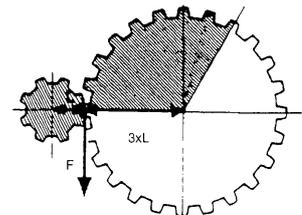
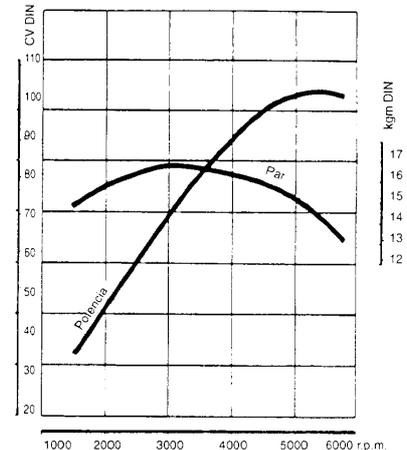
Resulta evidente que hay que conseguir que el motor trabaje en el intervalo de velocidades estable independientemente de la resistencia encontrada por el vehículo durante la marcha. La caja de velocidades es el medio para conseguir dicho funcionamiento: es un transformador de velocidad y par motor que altera par motor y velocidad de régimen, pero respetando el producto de ambas (la potencia se conserva si despreciamos las pérdidas).

$$P = T_1 \times w_1 = T_2 \times w_2$$

$$w_2 = \frac{T_1 \times w_1}{T_2} = w_1 \times \frac{R_1}{R_2}$$

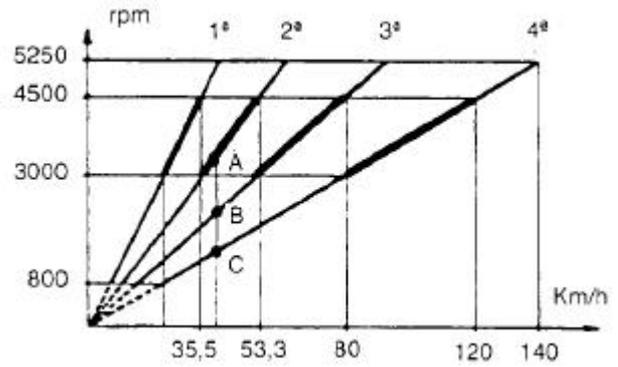
El par queda multiplicado por la relación de radios R_2/R_1 y la velocidad de giro por la inversa de dicha relación. Si la relación de radios fuese 3 el dibujo sería el de la derecha.

Esta posibilidad se aprovecha para transformar el par proporcionado por el motor, que es prácticamente constante en el intervalo de funcionamiento estable, en otro par mayor capaz de vencer la resistencia que se oponga a la marcha del vehículo. Para ello se montan entre el árbol motor y el eje de las ruedas, parejas de engranajes con distintas relaciones de transmisión, de manera que quedan acopladas las parejas de piñones más apropiadas a cada una de las condiciones de marcha del vehículo.



La relación más corta de una caja de velocidades ha de ser tal, que el par motor resulte multiplicado lo suficiente para que el vehículo:

1. Supere una pendiente determinada, de un 25% generalmente.
2. Sea capaz de arrancar en una rampa del 15% con una aceleración de 0.5 m/s^2 .



2.- CONVERTIDORES DE PAR

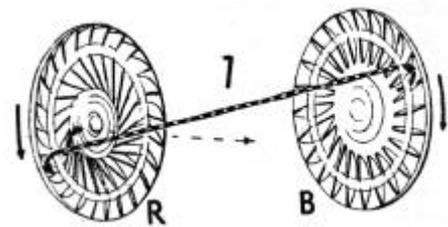
Como se ha comentado en la introducción, los motores térmicos empleados en los automóviles tienen un rango de velocidades de giro en los que pueden funcionar. Por ello, para poder arrancar desde el reposo es necesario independizar el giro del eje motor del giro del eje que proporciona movimiento a las ruedas del vehículo. El elemento que hace esto posible es el embrague.

En los coches con caja de cambios manual el embrague es mecánico y se acciona mediante un pedal que hace que los ejes motor y tractor se desconecten. En los automóviles dotados de transmisión automática la operación de embrague es hidráulica.

2.1.- Embrague hidráulico.

El embrague hidráulico basa su funcionamiento en la transformación de energía mecánica en energía hidráulica y viceversa. Se emplea por lo tanto un fluido para transmitir la potencia.

Estos embragues están formados por una bomba centrífuga o impulsor y una turbina. El motor hace girar a la bomba con lo que la energía mecánica de giro del eje motor se transforma en la bomba en energía hidráulica. El fluido impulsado en la bomba incide en los alabes de la turbina que va fijada al eje de la caja de cambios. En la turbina el fluido transmite su energía hidráulica al eje haciéndolo girar y convirtiéndose por tanto de nuevo en energía mecánica. El fluido una vez atravesada la turbina es redireccionando a la bomba completando el ciclo. El camino que recorre el fluido se denomina torbellino tórico.



Cuando el vehículo se encuentra en reposo el motor gira lentamente. La energía que el impulsor transmite a la turbina es insuficiente para vencer el par resistente opuesto por el peso del coche. La turbina permanece sin girar y hay un resbalamiento total entre bomba y turbina por lo que la eficiencia es nula. A medida que las revoluciones del motor van subiendo, la energía suministrada a la turbina aumenta progresivamente hasta que se consigue vencer el par resistente y comienza a girar. En este proceso la eficiencia va subiendo puesto que el resbalamiento es cada vez menor. Siempre existe un resbalamiento entre el impulsor y la turbina, que cuando el motor gira muy rápido es aproximadamente del 2%.

Sea cual sea el resbalamiento el par motor se transmite íntegro a la transmisión. Así aunque se acelere el motor muy rápido el coche se mueve progresivamente ya que gracias al resbalamiento no hay resistencia y el motor alcanza una velocidad suficientemente elevada, transmitiendo el par máximo.

De forma análoga, al subir una pendiente pronunciada aumenta el par resistente bajando así la velocidad del automóvil. A pesar de todo, un aumento del resbalamiento hace posible que se transmita el par máximo pudiendo subir la cuesta en directa, aunque sea a costa de una eficiencia menor.

Este tipo de embragues no pueden ser empleados en transmisión manual puesto que, por poco que sea, siempre se está transmitiendo un par de un eje al otro y eso hace imposible la maniobra de cambio de marcha. Además, presentan la ventaja de que no hay desgaste y el inconveniente de que, debido al resbalamiento entre impulsor y turbina, se produce un calentamiento y eso reduce el rendimiento.

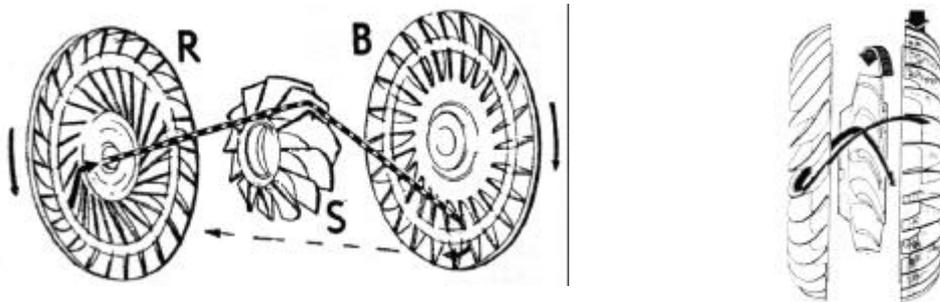
2.2.- Convertidor de par

El convertidor de par es un embrague hidráulico con las siguientes variaciones:

- Se intercala un reactor (o estátor), ver "S" en la figura, entre la bomba y la turbina. El reactor está montado sobre el cárter de la caja de cambios a través de una rueda libre.
- Los álabes de turbina y bomba ya no son planos, sino que tienen unos ángulos de entrada y de salida.

El reactor recoge el aceite a la salida de la turbina y le da una orientación adecuada para que incida convenientemente en los alabes de la bomba. De esta forma se reutiliza una energía no transmitida a la turbina requiriendo así la bomba menor par del motor.

La suma del par cedido por el motor a la bomba y el transmitido por el reactor a la misma es el par que se transmite a la turbina. Por lo tanto la principal ventaja del convertidor frente al embrague es que cuando hay resbalamiento el par saliente es aumentado con relación al de entrada gracias a que el reactor reorienta el fluido a una dirección más favorable. Así en el arranque la relación entre el par saliente y el entrante es aproximadamente 3:1. Esto permite iniciar la marcha incluso con una relación de cambio alta, suavemente y sin tirones, aunque con menor reprís.

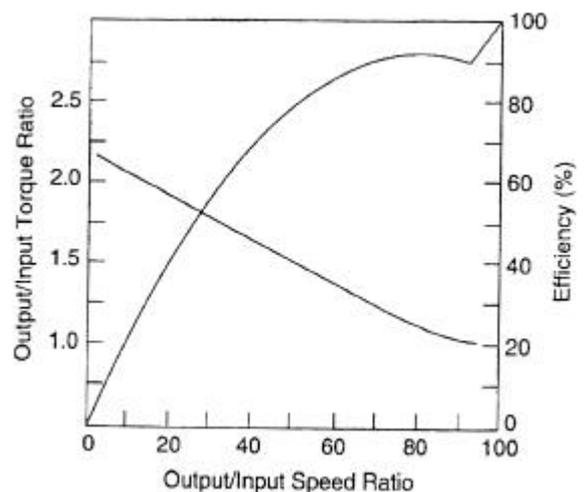


Si no existe resbalamiento el reactor no tiene utilidad, por lo que la conversión de par es la unidad. Este punto de servicio se denomina punto de embrague. Por encima de este punto el convertidor funciona como el embrague alcanzando un rendimiento máximo del 98%.

Cuando existe resbalamiento entre el impulsor y la turbina, el fluido que sale de la turbina, incide sobre el reactor con un sentido de giro contrario al que llevan la bomba y la turbina. La rueda libre impide el giro del reactor en este sentido, de modo que, apoyándose en el cárter, el reactor redirecciona el fluido hacia la bomba.

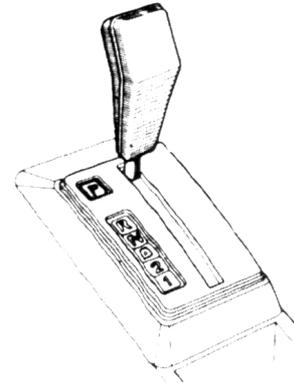
No obstante, si no se produce el fenómeno del resbalamiento, el fluido a la salida de la turbina lleva el mismo sentido de giro que la bomba y la turbina. Por ello la rueda libre permite el giro del reactor, por lo que éste no realiza ninguna función.

En algunos diseños de convertidores de par existe un mecanismo de embrague con enclavamiento que permite la unión (embragado) de la bomba y la turbina para velocidades altas. De esta forma se mejora la eficiencia ya que se evitan las pérdidas hidráulicas.



3.- LA PALANCA DE MANDO

Una transmisión automática es aquella que libera al conductor de la tarea de actuar sobre la palanca de cambios para seleccionar la marcha que le proporcione las prestaciones de par y velocidad que va a necesitar en un momento dado. Estas transmisiones suponen la desaparición del pedal del embrague, pero no de la palanca de cambio, si bien ésta tendrá otro tipo de función.



Las posiciones que puede ocupar la palanca son:

- **P (aparcamiento y posición de arranque):** En esta posición, la rueda de aparcamiento (ver apartado 5.4) se encarga de enclavar el eje de salida del movimiento. Es equivalente al freno de mano de las transmisiones manuales: sólo se emplea con el vehículo totalmente parado, para evitar que se desplace, y permite accionar el motor de arranque.

- **R (marcha atrás):** En cuanto se accione el acelerador el coche empezará a desplazarse hacia atrás, por lo que esta posición está bloqueada para velocidades superiores a los 10 km/h hacia adelante.

- **N (punto muerto y posición de arranque):** El posible movimiento del motor no se transmite a las ruedas.

- **D (directa):** En cuanto se selecciona esta posición la caja de velocidades queda en posición de primera velocidad. Al accionar el acelerador y comenzar la marcha es la propia caja la que gestiona los cambios necesarios en la relación de marchas. Puede ser seleccionada tanto a vehículo parado como en marcha.

- **2 ó S (segunda impuesta):** En esta posición el cambio es también automático, pero nunca se pasa de segunda, por lo que resulta útil en circulación por montaña. Puede seleccionarse tanto en marcha (si se circula en posición D y con la tercera engranada el cambio a la posición 2 sólo será posible por debajo de cierta velocidad del motor) como en parado (se engrana la primera velocidad).

- **1 ó L (primera impuesta):** En esta posición sólo está disponible la primera velocidad, y no está disponible a velocidades superiores a los 50 km/h.

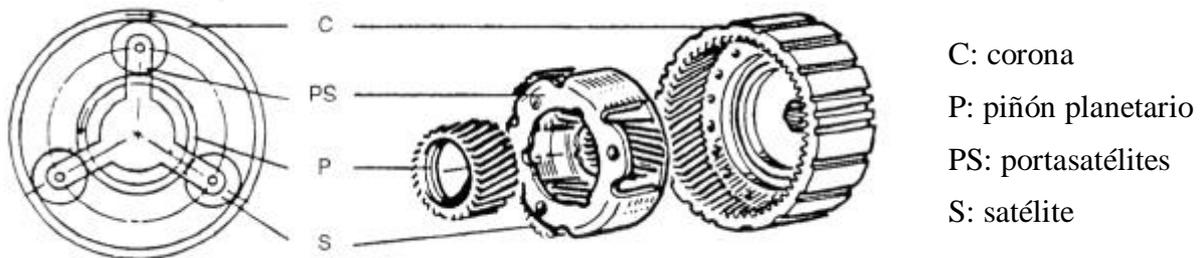
Las posiciones P, R y 1 requieren el desbloqueo de un seguro que evita que sean seleccionadas durante la marcha accidentalmente.

Cuando la palanca de mando está en alguna de las posiciones automáticas, los cambios de velocidad se producen con arreglo a tres factores: la velocidad del vehículo, la posición de la palanca selectora y la solicitud del acelerador (régimen del motor). De este modo, el conductor puede obtener del cambio una conducción flexible y económica, o bien deportiva, según cómo solicite el pedal del acelerador.

Al pisar a fondo el acelerador se consigue mayor rendimiento de cada velocidad, mientras que si se acelera parcialmente, el cambio de relación se produce a un régimen del motor bastante más bajo. También existe un dispositivo automático que funciona al pisar bruscamente a fondo el acelerador y que cambia a una velocidad más corta si no supone un incremento inadmisibles de las revoluciones del motor.

4.- TRENES EPICICLOIDALES

En las cajas manuales el cambio de marcha implica la desconexión de una combinación de ruedas dentadas para realizar la transmisión a través de otro juego de engranajes más o menos reductor. Todos los engranajes de que dispone la caja, incluso los que no están participando en la transmisión, están girando y por eso son necesarios los sincronizadores en el momento de cambiar a una nueva marcha. La filosofía del cambio en cajas automáticas es opuesta: todas las ruedas están engranadas, pero no siempre giran. Esto es posible gracias a trenes epicicloidales como el de la siguiente figura.

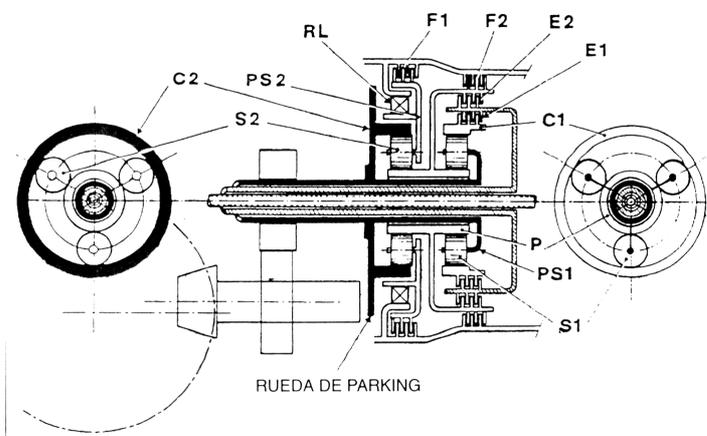


Este mecanismo ofrece tres movimientos de giro concéntrico (C, P, PS). Sin embargo, en una caja de velocidades los ejes de entrada y salida son únicos, por lo que uno de los tres giros parece redundante. De hecho, las diferentes relaciones de marcha se obtendrán eliminando ese giro redundante de diferentes maneras mediante frenos y embragues que trataremos más adelante. El siguiente cuadro recoge las opciones existentes.

Elemento fijo	Entrada	Salida	Relación de giro ¹
Portasatélites (PS)	Planetario (P)	Corona (C)	$r = -R_P/R_C$
Corona (C)	Planetario (P)	Portasatélites (PS)	$r = R_P/2R_{PS}$
Planetario (P)	Corona (C)	Portasatélites (PS)	$r = R_C/2R_{PS}$

Se observa que detener el portasatélites supone una inversión del sentido de giro, efecto que puede aprovecharse en la marcha atrás. Por otra parte, para conseguir una reducción unidad o transmisión directa basta impedir el movimiento relativo de todos los elementos y comunicar el giro al piñón planetario, ya que así el conjunto gira solidariamente.

Lo que se hace en la práctica es incluir más de un tren en la caja de velocidades para conseguir las relaciones de velocidad deseadas. Así, la siguiente figura muestra una solución con dos trenes que comparten piñón planetario; además el portasatélites PS1 y la corona C2 están rígidamente unidos.



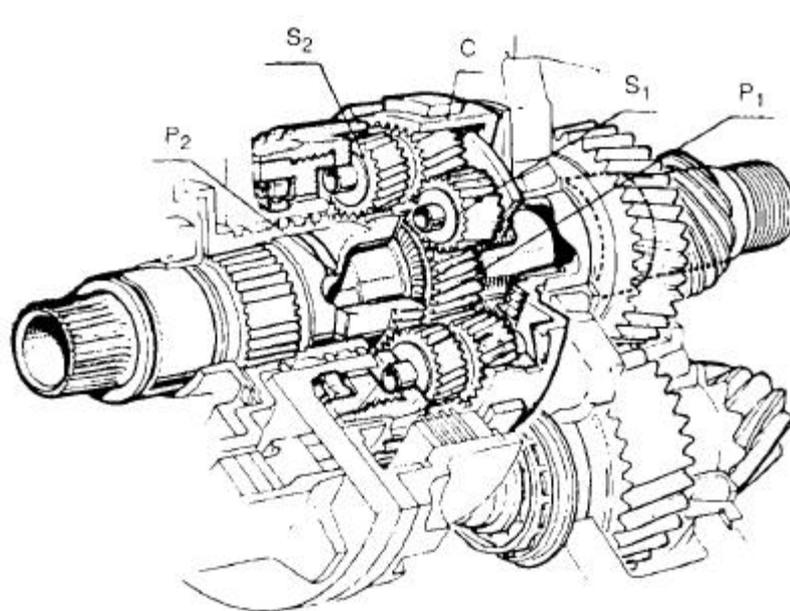
¹ En esta columna se muestra la relación de las velocidades de salida y entrada conseguida. Utilizamos "r" para denotar una desmultiplicación o reducción. Naturalmente, cambiando las salidas por las entradas se obtendrá el efecto de multiplicación.

En esta caja de velocidades la salida es el eje del portasatélites PS1 (C2), el cual es hueco y permite alojar en su interior el eje de entrada. Éste termina en un tambor que puede ser embragado al tambor del piñón planetario común o bien al de la corona C1. La figura muestra también los embragues y frenos disponibles para obtener las distintas relaciones de marcha. Analicemos éstas para la arquitectura de la caja de la figura.

Velocidad	Elemento fijo ²	Entrada ³	Salida ⁴	Transmisión del movimiento
Marcha atrás	PS2 (F1)	P (E2)	C2(-)	P → S2 → C2 P y PS1 → C1 (en vacío)
Primera	PS2 (F1)	C1 (E1)	C2(+)	C1 → S1 → (PS1-C2)
Segunda	P (F2)	C1 (E1)	C2(+)	C1 → S1 → (PS1-C2) C2 → S2 → PS2 (en vacío)
Tercera	Ninguno	C1 (E1) P (E2)	C2(+)	C1 y P → (PS1-C2), Bloqueo del tren 1. Transmisión directa.

Quizá la primera velocidad merece algún comentario adicional. Si el elemento embragado al motor es C1, es obvio que los satélites S1 girarán, pero no es tan inmediato que PS1 también gire. De hecho, si el piñón planetario adquiriera una velocidad suficiente los S1 podrían girar sin mover PS1. De ser así, ni PS1 ni C2 girarían. Pero si C2 no gira, PS2 está frenado y P2 está girando los S2 se romperían, por lo que es necesario que, en efecto, exista un giro en la salida C2-PS1.

La construcción aquí presentada para las cajas de velocidades automáticas no es la única. También podemos encontrarnos con soluciones como las cajas con tren planetario Ravigneaux. En ellas los dos trenes comparten corona, tienen piñones planetarios independientes y los satélites engranan directamente (ver figura abajo). Esta caja es la que se va a explicar en el apartado 6.



² Se muestra entre paréntesis el freno que enclava el elemento.

³ Se muestra entre paréntesis el embrague que está actuando.

⁴ Se muestra entre paréntesis el sentido de giro respecto del de la entrada.

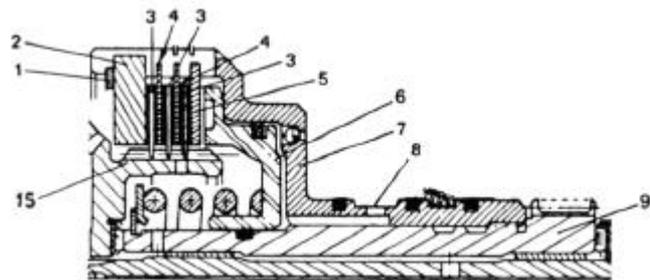
5.- ELEMENTOS MECÁNICOS DE MANDO

Ya ha quedado clara la necesidad de sistemas de embrague y frenado para la explotación de las posibilidades de relación de velocidades que ofrece el mecanismo de una caja automática. Sin embargo, no son los únicos elementos mecánicos de mando.

5.1.- Embragues

Se emplean embragues multidisco en baño de aceite como el de la figura, accionados por un circuito hidráulico del que más adelante hablaremos.

El embrague dispone de dos tipos de discos: los guarnecidos (3), unidos al elemento que recibe el giro desde la turbina del convertidor de par, y los de acero (4), solidarios al elemento a arrastrar. Cuando se requiere embragar ambos elementos, el circuito hidráulico proporciona la presión necesaria para desplazar el pistón (6) y con ello oprimir las parejas de discos hasta que por rozamiento los guarnecidos arrastren a los de acero sin deslizamiento relativo. Cuando no actúa la presión, un muelle antagonista retira el pistón y elimina el empuje de éste.

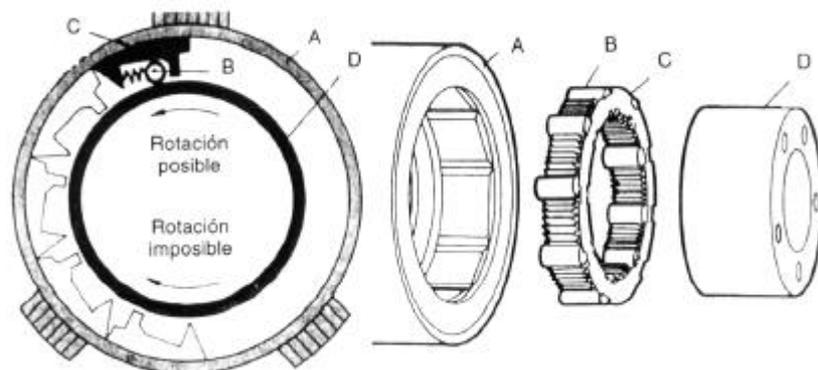


5.2.- Frenos

La única diferencia entre frenos y embragues es que unos de los discos no giran con el eje de entrada a la caja, sino que está fijados a la carcasa. Por lo demás la tecnología y el concepto de funcionamiento son los mismos. También pueden encontrarse frenos que emplean para detener el elemento giratorio la fricción de una cinta que lo rodea.

5.3.- Rueda libre

Se trata de un dispositivo que actúa sobre algún elemento del tren impidiendo su giro en uno de los sentidos. La figura muestra este mecanismo aplicado al portasatélites del tren.



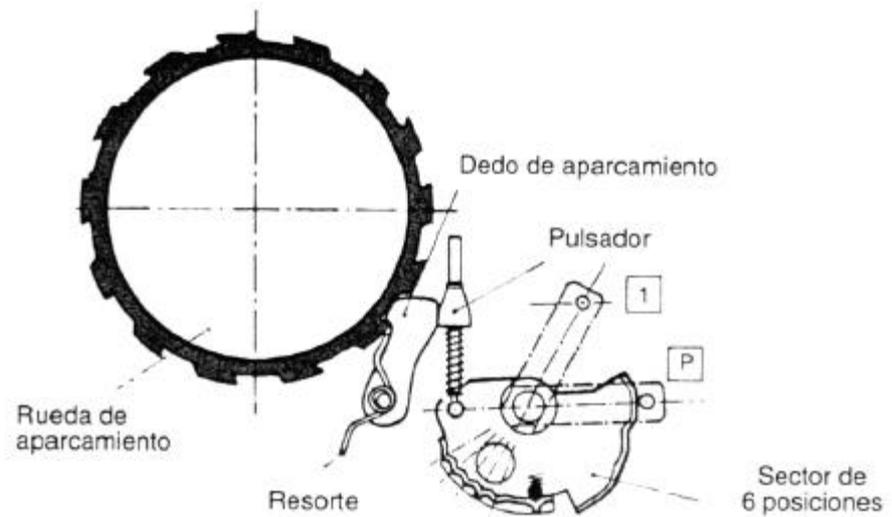
El elemento fijo A es una corona solidaria a la carcasa del cambio, mientras que la corona D está vinculada al portasatélites. La rotación antihoraria comprime los muelles al arrastrar los rodillos B. La rotación horaria arrastra los rodillos hacia el otro lado, en el cual quedan acuñados y sin posibilidad de giro. Por tanto, la corona D tampoco puede girar y la transmisión no gira.

5.4.- Rueda de aparcamiento

Se trata de un mecanismo de enclavamiento que se emplea para estacionar el vehículo impidiendo cualquier movimiento de éste. Al colocar la palanca de mando en la posición "P" actúa el dispositivo de la figura.

La rueda de aparcamiento es una corona dentada instalada en el árbol

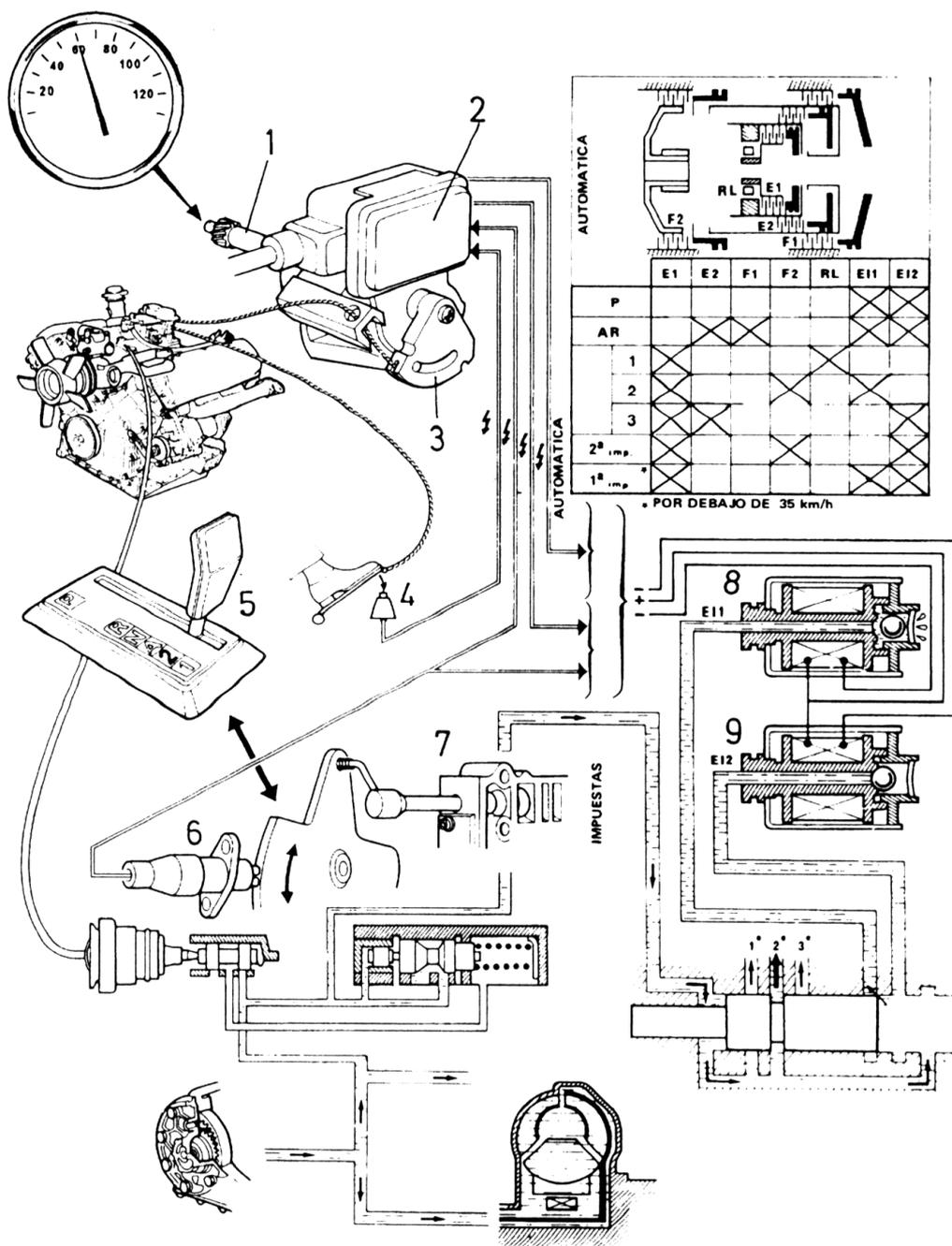
de salida, entre cuyos dientes puede encajarse el dedo de aparcamiento. Si al seleccionar la posición "P" el dedo no consigue encajar en algún hueco de la rueda de aparcamiento el coche no estará bloqueado y podrá desplazarse. Sin embargo, en cuanto lo haga, la rueda de aparcamiento girará y un muelle que actúa sobre el dedo hará efectivo el bloqueo.



6.- SISTEMA HIDRÁULICO

6.1.- Elementos hidráulicos de mando

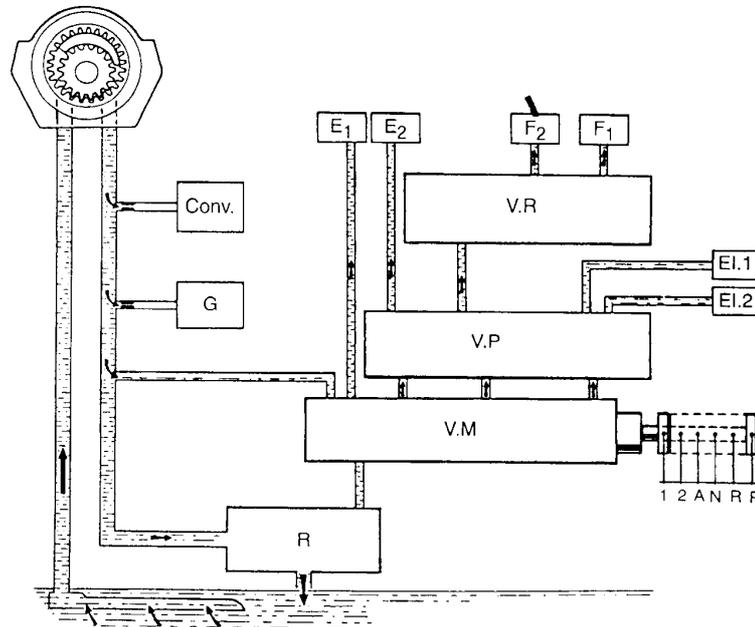
La selección automática de las distintas relaciones de marcha en los cambios automáticos se realiza mediante circuitos hidráulicos comandados por elementos electrónicos. La siguiente figura muestra la estrecha relación entre las dos tecnologías.



Los elementos de captación o sensorización de la figura son los siguientes:

- 1: captador de la velocidad del vehículo.
- 3: captador de la posición del acelerador.
- 4: interruptor de fin de recorrido del acelerador.
- 6: interruptor general de la posición de la palanca de cambio.

Toda esta información le llega al computador electrónico (2) que gobierna las electroválvulas (8) para comandar los embragues y frenos necesarios para activar las velocidades que procedan (ver tabla de la figura en la página anterior). Por tanto, los circuitos electrónicos gobiernan a los hidráulicos, que son los que hacen efectivos los cambios de relación de marcha.



El circuito hidráulico cuenta con una bomba de aceite que habitualmente es de engranajes de dentado interior (ver figura sobre estas líneas) y que suministra un caudal de aceite proporcional a la velocidad del motor. La bomba toma ese aceite del cárter inferior, lo filtra y envía ese caudal a los diferentes circuitos de accionamiento y engrase. Por tanto, la bomba sólo impone el caudal, pero no la presión, que viene dada por la carga del motor y regulada por una válvula específica (R). La presión de alimentación suele variar entre 3 y 5 bares y es aplicada por el distribuidor hidráulico a la válvula manual (VM) y a través de ella a la de paso (VP), la de secuencias (VR), los frenos (F1,F2), embragues (E1 y E2) y electropilotos (EI1 y EI2).

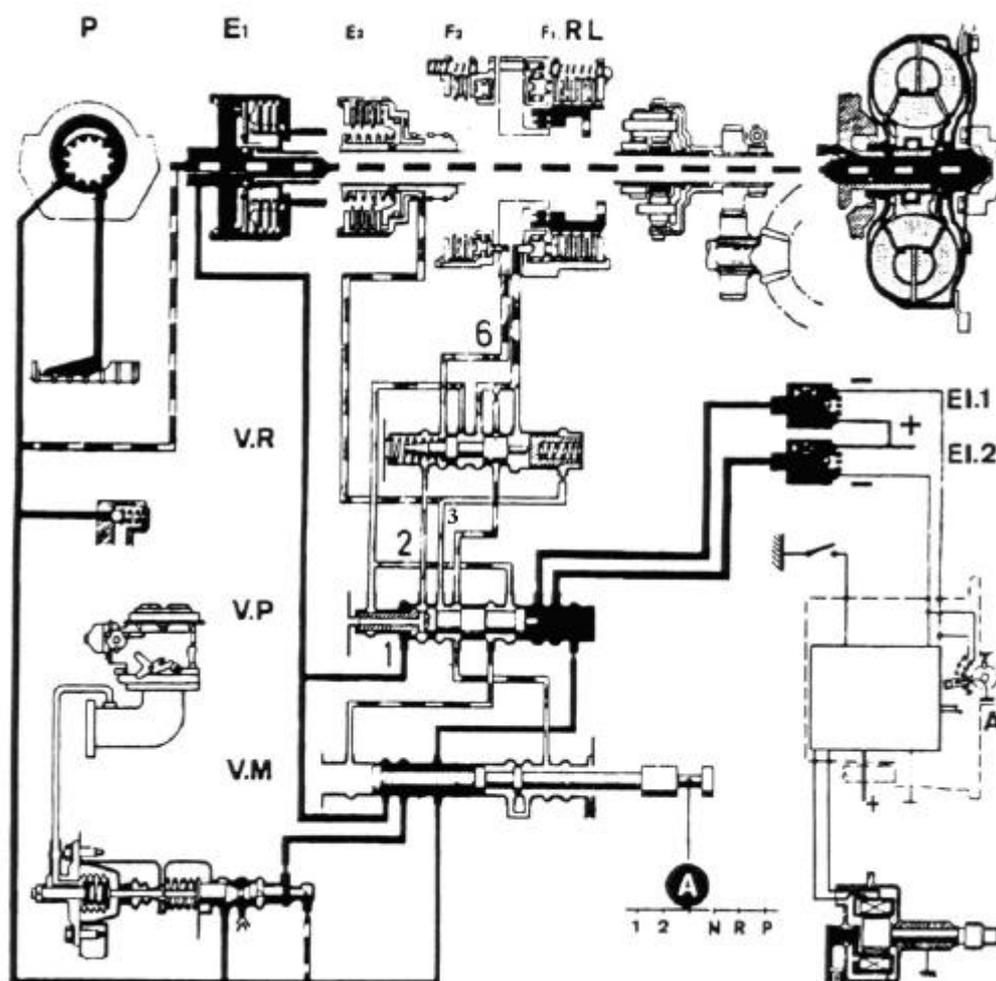
La válvula manual (VM) informa al distribuidor hidráulico de las posiciones de punto muerto, marcha adelante y marcha atrás. Así, abre o cierra los circuitos correspondientes para alimentar los componentes que en cada caso corresponda.

La válvula reguladora de presión (R) actúa desplazando una corredera que permite desahogar el exceso de presión derivando aceite al cárter. La presión de trabajo vendrá impuesta como se ha dicho, por la carga del motor. Así, con el motor en ralentí la presión de trabajo es baja por ser el par a transmitir bajo también, mientras que cuando el motor funciona a plenos gases la presión de trabajo será mucho mayor. Por tanto, en cada caso la presión debe regularse a un valor distinto.

6.2.- Funcionamiento del sistema hidráulico

El funcionamiento de las cajas de cambio automáticas está regulado por el circuito hidráulico esbozado anteriormente, que es el que implementa la relación apropiada en función de las condiciones de funcionamiento del motor y la marcha del vehículo entre otras. En este funcionamiento intervienen la válvula manual y las válvulas de paso, junto con los electropilotos incorporados a ellas que reciben las señales eléctricas de una central electrónica.

A continuación se explica el funcionamiento del sistema hidráulico para las cajas con tren planetario Ravigneaux. Cuando la palanca selectora se coloca en la posición A para obtener una conducción enteramente automática, la válvula manual (VM) es llevada a la posición que se aprecia en el dibujo, al tiempo que el contactor (A) del calculador electrónico establece el circuito eléctrico correspondiente.



Si el vehículo está detenido, la tensión del generador de impulsos es nula y los electropilotos (E1) y (E2) son alimentados de corriente eléctrica, al mismo tiempo que la válvula manual (VM) conserva abiertos los circuitos hacia los electropilotos y, además, permite la alimentación directa del embrague (E1) y la parte izquierda de la válvula de paso (VP).

Dado que la parte derecha de la válvula de paso presenta una mayor sección que la zona de la izquierda, la corredera de esta válvula se mantiene desplazada hacia la izquierda y, en estas condiciones, solamente es alimentado el embrague (E1), con lo cual se obtiene la primera relación de marcha, comenzando a rodar el vehículo.

A medida que el vehículo adquiere velocidad, la tensión eléctrica del generador de impulsos va aumentando, hasta que alcanzado un determinado valor, el electropiloto (E11) es activado, permitiendo la salida de aceite por él. Con ello se produce un descenso de la presión aplicada a la derecha de la cremallera de la válvula de paso (VP). Que se desplaza en este mismo sentido hasta obturar el canal de comunicación con (E11) para encontrar una nueva posición de equilibrio, en la cual, quedan comunicados los canales 1 y 2 de esta válvula de paso, permitiendo la llegada de presión hasta la válvula de secuencias (VR), desde donde es alimentado el freno (F2) a través del conducto (6).

Así pues, en esta nueva posición quedan alimentados el embrague (E1) y el freno (F2), lo que corresponde a la segunda velocidad automática.

Si el vehículo continúa aumentando de velocidad, la tensión eléctrica del generador sigue creciendo hasta un valor tal, que activa el electropiloto (E12) permitiendo el escape de presión a su través. Con ello, la corredera de la válvula (VP) se desplaza un poco más a la derecha, hasta obturar el canal de comunicación con (E12), encontrando allí su nueva posición de equilibrio, en la cual permite la alimentación de ambos extremos de la válvula de secuencias (VR), a través de los conductos (2) y (3), al tiempo que el segundo de ellos alimenta directamente al embrague (E2). En esta nueva posición de la válvula de secuencias, queda cortada la comunicación con el freno (F2) que estaba establecida anteriormente y, ahora, son alimentados los embragues (E1) y (E2), lo que supone la selección de la tercera velocidad automática.

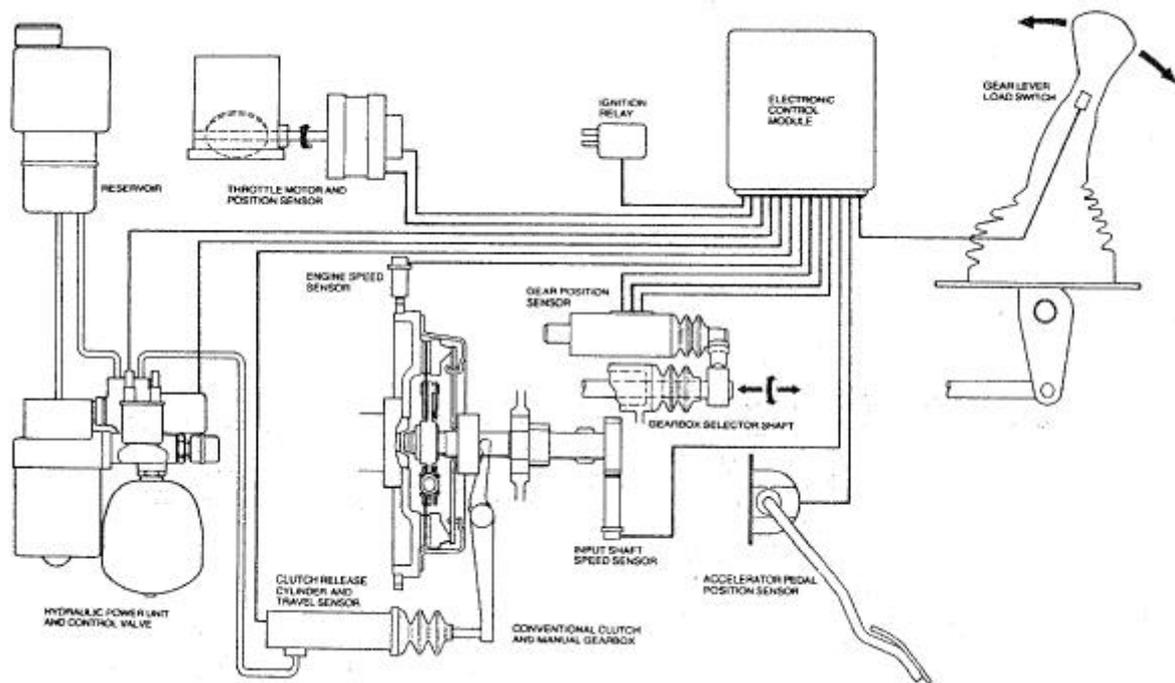
En los descensos de velocidad del vehículo, la selección de velocidades se produce con un funcionamiento inverso al descrito.

A continuación se presenta en una tabla los elementos del circuito hidráulico que están activado o desactivados para cada una de las restantes marchas.

	Elementos activados	Elementos desactivados
N: Punto muerto	ninguno	E11, E12
2: Segunda impuesta	E11, F2,E1	E12
1: Primera impuesta	E1	E11, E12
R: Marcha atrás	E2, F1	EL1, EL2
P: Aparcamiento	ninguno	E11, E12

7.- CAJA DE CAMBIOS SEMIAUTOMÁTICA

Se trata de un sistema en el que la función del embrague es encomendado a un sistema electrónico de gestión, que a su vez comanda un sistema hidráulico de mando de la palanca de desembrague. En el dibujo se aprecia la disposición en la que el mecanismo de embrague convencional, la palanca de desembrague (conventional clutch and manual gearbox), es accionada por un cilindro hidráulico (clutch release cylinder and travel sensor), que recibe la presión del grupo hidráulico gobernado por una electroválvula de control (hydraulic power unit and control valve), que recibe los impulsos de mando del calculador electrónico (electronic control module), el cual, a su vez, toma señales de referencia de la posición de la palanca de cambios y del pedal del acelerador, así como del régimen motor y velocidad del vehículo.



Cuando el vehículo está parado y el interruptor de encendido desconectado, el embrague se encuentra siempre en la posición de embragado, independientemente de si el cambio se encuentra con una velocidad metida o en punto muerto. Con una velocidad metida no es posible el arranque del motor. Si se acciona la palanca de cambio para llevarla a la posición de punto muerto, un captador de esfuerzo situado sobre la palanca envía una señal al calculador que acciona el embrague permitiendo sacar la velocidad para poder arrancar el motor.

Cuando se activa el interruptor de encendido, el sistema se inicializa y advierte al conductor mediante una señal sonora si está metida alguna velocidad. Al mismo tiempo, pone en funcionamiento el grupo generador de presión hidráulica para alcanzar el valor conveniente de la presión de mando.

Con el vehículo en marcha, cuando el conductor acciona la palanca del cambio para seleccionar la primera velocidad, el captador de esfuerzo de la palanca envía al módulo electrónico la correspondiente señal y es activado el embrague permitiendo la selección de esta marcha. En esta situación, el arranque del vehículo se produce automáticamente al acelerar, realizándose la operación de embragado progresivamente en función de la posición del acelerador y de la respuesta del motor (subida de régimen). Si el conductor selecciona una marcha inadecuada para el arranque, se produce un pitido de advertencia.

Con el vehículo en marcha, cuando el conductor inicia la maniobra de cambio de relación, ejerciendo un leve esfuerzo sobre la palanca del cambio y levantando el pie del acelerador, el calculador recibe ambas señales que producen el desembrague. Una vez introducida la nueva relación, el captador de posición del selector de marcha envía una señal al calculador que autoriza el embragado al acelerar. Esta acción de embragado se produce a una velocidad que depende de las velocidades del motor y del vehículo, de manera que en los cambios ascendentes se realiza rápidamente, mientras que en los descendentes la maniobra es más lenta.

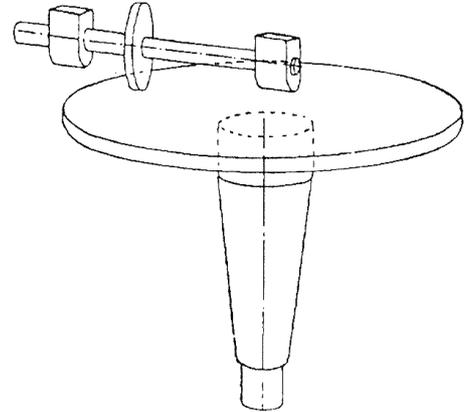
En el momento de detener el vehículo, el sistema desembraga al descender la velocidad por debajo del régimen correspondiente al ralentí, permaneciendo el motor desembragado, con independencia de la posición de la palanca de cambio, hasta que sea accionado el acelerador.

La gestión electrónica de este tipo de embrague mejora considerablemente las prestaciones y manejo del cambio con respecto al sistema convencional, disminuyendo el desgaste normal del disco de embrague que se produce en las maniobras de embragado, y evitando el uso abusivo de algunos conductores sobre el sistema de embrague.

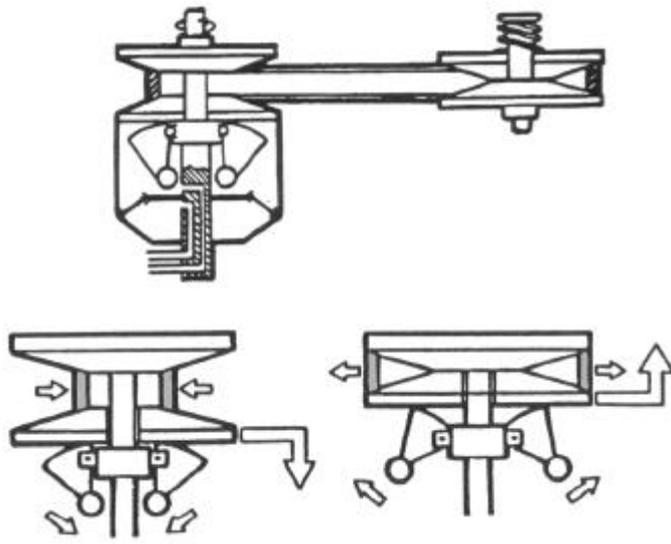
8.- CAMBIO AUTOMÁTICO POR VARIADOR CONTINUO (CVT)

Las cajas de cambios explicadas anteriormente tienen un número finito de relaciones de cambio. Mientras más relaciones de cambio se tenga, mejor se aprovechan las prestaciones del motor térmico. El cambio automático por variador continuo tiene una variación continua de la relación de cambio, es decir, infinitas relaciones de cambio.

Sean dos discos cuyos ejes son perpendiculares y que ruedan uno sobre otro (ver figura). Si se varía el radio del disco grande sobre el que el disco pequeño gira, se consigue variar la relación entre sus velocidades angulares. Si se conecta el disco pequeño al motor y el grande a las ruedas ya se tiene una caja de cambios cuya relación de cambio puede variar de manera continua. Al llevar a la práctica esta idea surgen dos problemas: las grandes cargas que deben soportar ambos discos que les da una eficacia menor del 50% y el desgaste no uniforme que sufre el disco grande. Sin embargo, la técnica actual permite solucionar dichos problemas y fruto de ello es la transmisión Taurotrak.



Aunque la idea anterior consigue una transmisión que varía continuamente la relación de marcha, cuando se habla de CVT suele ser más habitual referirse a un sistema formado por dos poleas de diámetro variable unidas mediante una correa metálica. En función de las condiciones de marcha del vehículo y de los requerimientos de la conducción, el diámetro de las poleas varía y con ello se logra un número de marchas infinito, es decir, una variación continua en la relación de marcha.



El giro del motor es transmitido a las ruedas a través de dos poleas llamadas primaria, la del motor, y secundaria, la del eje de las ruedas. Cada polea está formada por dos troncos de cono cuya separación puede variarse. En la primaria unas masas de inercia controlan la separación de los discos por la fuerza centrífuga y en la secundaria un muelle los mantiene unidos una distancia que depende del diámetro que tengamos en la polea primaria.

Cuando el eje primario gira las masas tienden a separarse del eje debido a la fuerza centrífuga, esto hace que se junten los discos de la polea primaria y el diámetro que describe la correa aumenta (ver figura superior). Como la longitud de la correa es constante, al aumentar el recorrido por la polea primaria, la polea secundaria disminuye su diámetro separándose los discos y comprimiendo el muelle. A medida que el eje gira más rápido, las masas tienden a

separarse más del eje y comprimir más los discos del primario, aumentando su diámetro y disminuyendo el del secundario. Así se consiguen infinitas relaciones de marcha, minimizando las variaciones de régimen del motor.

Cuando el vehículo está parado el resorte mantiene juntos los discos de la polea secundaria con lo que se consigue que el diámetro de la polea sea el máximo y, por consiguiente, que el diámetro de la primaria sea mínimo, con esta relación de diámetros se consigue mucho par en el eje secundario. Una vez que está en marcha el vehículo, las masas de inercia de la polea primaria empujan a los discos obligando a estos a cerrarse con lo que el diámetro de la polea aumenta y el del secundario disminuye. Con esta nueva relación de diámetros se consigue una mayor velocidad de giro en el secundario. Con esto se consigue una relación adecuada de par-velocidad en el eje secundario, el de las ruedas, esto es, a velocidades pequeñas se le suministra el máximo par para esa velocidad, y en los demás casos se trata de ofrecer capacidad de alcanzar la máxima velocidad posible.

Si la fuerza centrífuga tuviera que superar continuamente la fuerza del resorte por sí misma, se requeriría un régimen demasiado elevado del motor y potencia, o más combustible. Para economizar combustible la fuerza centrífuga es asistida por el vacío del motor. Así, la influencia de los contrapesos centrífugos puede ser asistida o contrarrestada.

Cuando el vacío de motor favorece la fuerza centrífuga de las masas se consigue que los discos de la polea primaria se junten más de lo que se juntarían sin este efecto o lo que es lo mismo, un mayor diámetro; se obtiene una relación de supermarcha que permite mantener la misma velocidad con un menor par motor.

Cuando se pisa el freno, el vacío del motor se opone a la fuerza centrífuga de las masas y se consigue que los discos de la polea primaria se junten menos de lo que lo harían sin este efecto (menor diámetro). Se consigue una relación más baja de diámetros y así el motor contribuye a la acción de frenado (freno motor).

Otra opción para desplazar la polea primaria es mediante actuadores oleohidráulicos en vez de mediante la fuerza centrífuga. Aunque las poleas sean la clave de estas cajas de cambio, no hay que olvidar que también tienen otros elementos. Antes de la caja se necesita un embrague hidráulico o magnético. Además, la caja puede disponer de un tren de engranajes paralelos con sincronizador para conseguir dos desmultiplicaciones en el eje de salida (el desarrollo más corto se utilizará para recorridos de montaña y retenciones del motor). Para conseguir la marcha atrás hay que acoplar un tren adicional que invierta el sentido de giro.

Este tipo de cambios no ha avanzado mucho en los últimos años por su limitación para transmitir grandes pares. Esto los ha relegado a coches de poca potencia y destinados principalmente al uso urbano, como el Nissan Micra y el Lancia Y.

9.- ANÁLISIS DE CAJAS DE CAMBIO COMERCIALES

9.1.- Tendencias actuales en cajas de cambio automáticas

Actualmente el 80% de las transmisiones europeas son manuales, mientras que en América y Japón prácticamente el 100% son automáticas. ¿A qué razones responde esta discrepancia? Fundamentalmente son tres las desventajas de las transmisiones automáticas:

1. Son un 80% más caras.
2. Su funcionamiento es menos eficiente desde el punto de vista del rendimiento y del consumo.
3. El conductor no tiene pleno control sobre el vehículo.

Así y todo, en unos diez años se prevé que el 36% de los coches funcionen con transmisiones automáticas, ya que facilitan la conducción (aunque también le restan encanto) y además se está mejorando el aspecto del consumo.

En la línea del consumo o la eficiencia, puede decirse que las CVT consiguen rendimientos mecánicos cercanos al 90%. Es un valor menor que el de las manuales, pero la conducción es más sencilla. Quizá la solución más conveniente desde el doble punto de vista de la facilidad de manejo y el rendimiento es el de las transmisiones semiautomáticas. Además, las diferencias de construcción entre las cajas semiautomáticas y las manuales son mínimas y por tanto las fábricas de coches pueden conseguir esta evolución con una baja inversión inicial. De hecho, un ejemplo de ello lo tenemos con uno de los Twingos de la Renault.

En otro orden de cosas, debe señalarse que la vida para la que se diseñan las transmisiones de los automóviles ha crecido de 200.000 a 300.000 km en los últimos 25 años. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de materiales y lubricantes que mejoran significativamente los desgastes y los calentamientos. También han contribuido a ello las potentes técnicas de diseño y cálculo actuales, que permiten cuidar ya desde las etapas de diseño aspectos como el ángulo de presión y la geometría del diente para mejorar la relación de contacto entre dientes. Una alta relación de contacto reduce las vibraciones y el ruido y proporciona un mejor reparto de carga entre los diferentes dientes.

9.2.- Clasificación de las cajas de cambio comerciales

La variedad de la oferta de cambios no manuales es tal, que conviene hacer una pequeña clasificación:

- **Cambio semiautomático:** no hay convertidor de par, sino un embrague y una palanca convencionales, aunque no hay pedal de embrague. Un sensor en la propia palanca de cambios y otro en el acelerador detectan la intención del conductor de cambiar de marcha, y mandan una señal que controla el embrague (ver apartado 7).
Ejemplos: en la Clase A de Mercedes, Twingo Easy y Sensonic de Saab.
- **Cambio automático por variador continuo (CVT):** ver apartado 8.
- **Cambios automáticos:** con convertidor de par y trenes epicicloidales. Hay de tres tipos:
 - Sencillos: sólo hay que seleccionar la posición D en la palanca y conforme a una ley preestablecida el cambio selecciona una marcha superior al subir de un régimen determinado, y una inferior al bajar de otro régimen.

- Con control electrónico y varios programas de funcionamiento: uno deportivo en el que se estiran las marchas, uno económico en el que se busca siempre la relación más larga y otro llamado "invierno" que selecciona la segunda para arrancar evitando las pérdidas de tracción. *Ejemplo: en la clase A de Mercedes.*
- Inteligentes o adaptativos. En vez de programas fijos, un ordenador analiza las condiciones de la carretera y el estilo del conductor en base a los datos recogidos por distintos sensores. Una vez procesados, el ordenador memoriza estos datos y selecciona la secuencia de cambios más lógica en función de lo que va almacenando. *Ejemplos: INVECS-II de los Mitsubishi Carisma y Galant, cambio DSP del Volkswagen Passat.*

Además hay cambios que combinan varios de los antes mencionados dependiendo si se usan en su modo manual o automático:

- Automático secuenciales: pueden ser como el Tiptronic de Audi o el Steptronic de BMW que pueden funcionar como automáticos adaptativos o secuenciales⁵ o como el Autostick de Chrysler que combina un cambio automático electrónico con uno secuencial. El Tiptronic también lo usan: Porsche en sus modelos 911 y Boxster, y el Honda Prelude.
- Softip del Smart: tiene un embrague automático. Puede funcionar metiendo manualmente las marchas como en uno secuencial o en modo automático con tres programas.

A continuación se analizarán dos casos concretos de cajas de cambio comerciales:

9.2.1 Audi Multitronic

Audi ha desarrollado un tipo de transmisión "sin pasos" que elimina todos los inconvenientes que tiene la caja de cambios manual, mejorando las estrategias de cambio de velocidad. Se trata de la transmisión multitronic. Según las pruebas realizadas el multitronic, a diferencia de la caja de cambios manual de 5 velocidades:

- Se obtiene una mejor aceleración
- Consume menos gasolina
- Conducción más cómoda

El Audi multitronic deriva del CVT (continuously variable transmission), sistema actualmente en el mercado, desarrollando numerosas modificaciones y mejoras. Emplea un embrague multidisco que elimina las típicas pérdidas en la transmisión, ofreciendo variedad en el comienzo de estrategias. Estas son seleccionadas por el circuito electrónico de control de acuerdo con las preferencias del conductor, detectadas mediante el modo de utilización del pedal del acelerador. El embrague multidisco de control electrónico tiene también la ventaja de tener una conducta constante de velocidad.

También se ha conseguido eliminar el "rubber band effect" muy criticado en el sistema CVT. Esto se ha conseguido mediante un doble pistón principal en el variador y la separación del flujo de aceite de alta presión y los circuitos de refrigeración, con lo que se obtiene que la bomba de salida del circuito hidráulico sea más suave que una convencional.

⁵ En un cambio secuencial se sube o baja de marcha con un toque en la palanca hacia adelante o hacia atrás.

9.2.2 Alfa Romeo Selespeed

Alfa Romeo ha desarrollado un sistema de cambio basado en la caja de cambios secuencial empleada en la Fórmula 1 por Ferrari. Se trata de la caja de cambios Selespeed, similar a la caja de cambios Tiptronic empleada por otros fabricantes de coches. La diferencia respecto al cambio de Fórmula 1 está en que la Selespeed también se puede emplear como cambio automático.

El funcionamiento de la caja de cambios Selespeed está prácticamente robotizado. El conductor solamente se encarga de decidir si subir o bajar de marcha pudiendo hacerlo de dos maneras posibles, empleando para ello la palanca de cambios o bien los botones que existen en el volante. Si se emplea la palanca de cambios bastaría con dar un simple toque para adelante o para atrás para subir o bajar marcha, si se emplean los botones del volante bastaría con pulsar uno de los botones para cambiar.

Tres actuadores se encargan de que se produzca el cambio de marcha. Uno se encarga de controlar el embrague, para que en el momento de que se vaya a producir el cambio de marcha este se encuentre desembragado, otro se encarga de que engranen, ajustando automáticamente la velocidad del motor para que sea la adecuada para la nueva relación y el tercero controla la selección de la velocidad, esto es, cual es la relación de marcha que debe meter.

Para empezar a mover el coche simplemente hay que pisar el freno y meter primera o marcha atrás, empleando la palanca de cambios o bien los botones del volante. Con la marcha metida se libera el pie del freno y se pisa el acelerador y el Selespeed comienza a actuar. Una vez el coche va a más de 10 km/h se puede emplear la palanca de cambios para cambiar de marcha. Si los dos controles son empleados a la vez accidentalmente, la palanca de cambios tiene preferencia sobre los botones del volante.

En las maniobras de frenada de emergencia, el sistema Selespeed reduce automáticamente las marchas consiguiendo una fuerza de frenado adicional.

El sistema Selespeed es un sistema hidráulico, controlado por un ordenador que emplea una bomba eléctrica para producir la energía para el sistema para poder operar. El sistema hidráulico se encarga tanto del embrague como de la marcha. La bomba se activa cuando la puerta del conductor es abierta, asegurando la suficiente presión hidráulica para arrancar el motor.

Como ya se ha dicho, Selespeed puede emplearse como caja de cambios automática. Si se emplea esta posibilidad, el conductor ya no tiene ni siquiera que decidir el cambio de marchas. El funcionamiento de esta es similar a la que se ha explicado en este trabajo.

Si el conductor está empleado la posición automática y en un momento dado decide emplear la forma secuencial, no tendría que frenar la marcha, simplemente bastaría con dar un pequeño golpe a la palanca o con pulsar alguno de los botones del volante y directamente pasaría a la forma secuencial.

10.- BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Alonso, J.M., *Sistemas de transmisión y frenado*, Editorial Paraninfo, 1996.
- Fenton, John, *Handbook of Automotive Powertrain and Chassis Design*, Professional Engineering Publishing, 1998.
- Arias Paz, Manuel, *Manual de automóviles*, Editorial Dossat, Madrid, 1990.
- Giménez Ortiz, J.G., de Lasala García, F.J. , *Transportes*, UNICOPIA, 1998.

Revistas

- AUTOMOVIL (Especial Automatic), Marzo 1998.
- Automotive Engineering, Marzo 1989.

Internet

- Audi World Site, <http://www.audi.com> .
- Unique Perfomance Automatic Gearboxes for the New Alfa Romeo 156, <http://www.autoweb.com.au> , Febrero 1999.