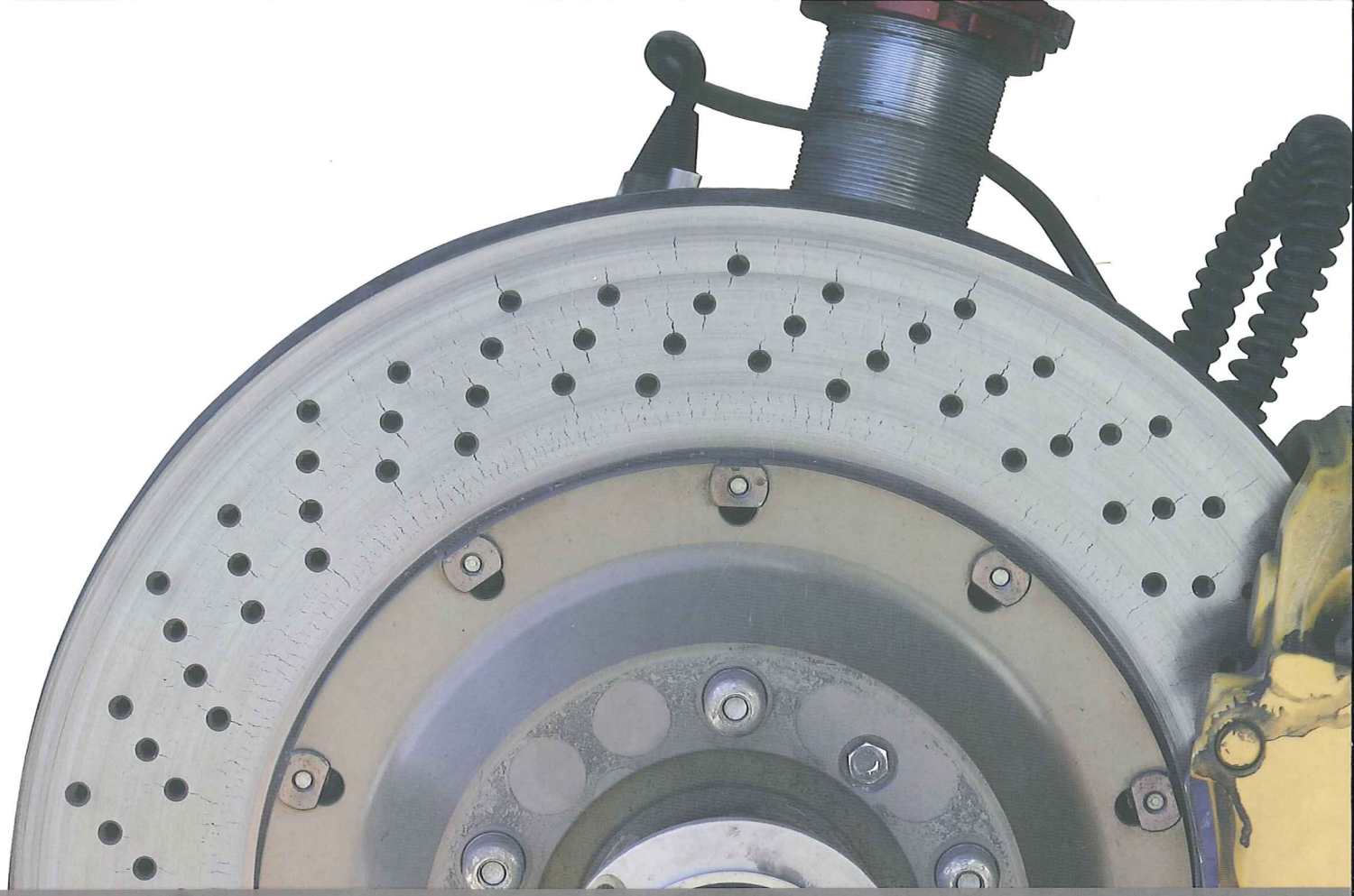


Sistemas de Transmisión y Frenado

Banesa Sastre
Móvil 628 739 363

MACMILLAN Profesional

MACMILLAN Profesional

Sistemas de Transmisión y Frenado

José Ignacio Rodríguez García

José Villar Paúl

MACMILLAN Profesional

Unidad 1 - Principios básicos de los sistemas de transmisión en vehículos 10

1 >> Dinámica longitudinal del vehículo 11

1.1 > Fuerza de impulsión en la rueda 12
1.2 > Resistencia a la rodadura 14
1.3 > Resistencia del aire 15
1.4 > Resistencia debida a la pendiente 16
1.5 > Resistencia por inercia 16
1.6 > Rendimiento mecánico de la transmisión 16
1.7 > Potencia necesaria para vencer las resistencias a la marcha 17

2 >> Elementos que componen el sistema de transmisión de los vehículos 18

2.1 > Embrague 18
2.2 > Caja de cambios 19
2.3 > Árboles de transmisión y juntas homocinéticas 19
2.4 > Diferencial 19

Unidad 2 - El embrague de fricción 24

1 >> Necesidad y funciones del embrague 25

2 >> Embrague de fricción 26

2.1 > Principio de funcionamiento del embrague de fricción 26

3 >> Composición del embrague de fricción 27

3.1 > Volante de inercia 27
3.2 > Disco de embrague 31
3.3 > Mecanismo de presión 32
3.4 > Cojinete de desembrague 34

4 >> Tipos de embragues de fricción 35

4.1 > Embrague bidisco 35
4.2 > Embrague multidisco bañado en aceite 36
4.3 > Embrague autoajustable 37

5 >> Sistemas de accionamiento del embrague de fricción 39

5.1 > Accionamiento mecánico 39
5.2 > Accionamiento hidráulico 40
5.3 > Accionamiento hidroneumático 41
5.4 > Accionamiento automático 41
5.5 > Fuerzas que actúan en los sistemas de accionamiento 42

6 >> Par de giro transmitido por el embrague 44

7 >> Averías en el mecanismo del embrague de fricción 45

8 >> Comprobaciones en los elementos del embrague de fricción 46

8.1 > Comprobaciones en el volante de inercia 46
8.2 > Comprobaciones en el disco de embrague 46
8.3 > Comprobaciones en el mecanismo de presión y la maza de embrague 46

9 >> Montaje del disco de embrague 47

Unidad 3 - Embragues automáticos 52

1 >> Embrague hidráulico 53

1.1 > Componentes del embrague hidráulico 54
1.2 > Funcionamiento del embrague hidráulico 54

2 >> Convertidor de par 56
2.1 > Componentes del convertidor de par 56
2.2 > Funcionamiento del convertidor de par 58
2.3 > Circuito de alimentación del aceite de convertidor de par 61
2.4 > Diagnóstico de anomalías del convertidor de par 61
3 >> Embrague electromagnético o metálico 62
3.1 > Funcionamiento del embrague 63

Unidad 4 - La caja de cambios manual I 68
1 >> Caja de cambios manual 69
1.1 > Conceptos físicos 69
1.2 > Necesidad de la caja de cambios 71
2 >> Elementos de la caja de cambios manual 72
2.1 > Elementos estructurales de la caja de cambios manual 73
3 >> Cadena cinemática de la caja de cambios manual 74
3.1 > Engranajes 74
3.2 > Árboles y ejes 77
3.3 > Representación de la cadena cinemática 77
3.4 > Relación de transmisión 78
4 >> Sincronización de las velocidades 79
4.1 > Dispositivo de sincronización básico 79
4.2 > Sincronizador absoluto 80
5 >> Tipos de sincronizadores 82
5.1 > Sincronizador sencillo (Borg Warner) 82
5.2 > Sincronizador de triple cono 83
5.3 > Sincronizador New Process 84
5.4 > Sincronizador de anillo elástico (tipo Porsche) 86
6 >> Tipos de cajas de cambios 87
6.1 > Caja de cambios con secundario a contraeje 87
6.2 > Caja de cambios con secundario de reenvío fijo 90
6.3 > Caja de cambios para montaje longitudinal 93
6.4 > Caja de cambios de dos árboles secundarios 95
7 >> Selección de las velocidades en las cajas manuales 98
7.1 > Mecanismo externo 98
7.2 > Mecanismo interno 100

Unidad 5 - La caja de cambios manual II. Mantenimiento 110
1 >> Soporte de los elementos de la cadena cinemática. Rodamientos 111
1.1 > Configuración de montaje de los rodamientos 111
2 >> Sensores de señal 112
2.1 > Interruptor de las luces de marcha atrás 112
2.2 > Transmisor para el velocímetro 113
3 >> Lubricación de la caja de cambios 114
3.1 > Métodos de lubricación de la caja de cambios 114
3.2 > Tipos de lubricante 115
3.3 > Retenes de aceite 117

4 >> Diagnosis de averías de la caja de cambios manual 119
4.1 > Aparición de ruidos extraños durante el funcionamiento de la caja de cambios 119
4.2 > Dificultad en la inserción de velocidades 120
4.3 > Desacoplamiento repentino de las velocidades 122
4.4 > Fugas de aceite 122
5 >> Proceso de verificación y reparación de una caja de cambios manual 123
5.1 > Comprobación de los árboles 124
5.2 > Comprobación del eje y el piñón de marcha atrás 124
5.3 > Comprobación de los anillos sincronizadores 125
5.4 > Comprobación de holguras en los piñones libres 126
5.5 > Comprobación de las horquillas de selección 127
5.6 > Comprobación del alabeo de las varillas de mando 127

Unidad 6 - Cajas de cambios manuales automatizadas 134
1 >> Cajas de cambios manuales automatizadas 135
2 >> Cajas automatizadas electromecánicas 136
2.1 > Componentes de una caja automatizada electromecánica 136
2.2 > Funcionamiento de una caja automatizada electromecánica 138
3 >> Cajas automatizadas electrohidráulicas 139
3.1 > Componentes de una caja automatizada electrohidráulica 139
3.2 > Funcionamiento de una caja automatizada electrohidráulica 142
4 >> Cajas automatizadas electroneumáticas 144
4.1 > Componentes de una caja automatizada electroneumática 144
4.2 > Funcionamiento de una caja automatizada electroneumática 145
5 >> Sensores utilizados en las cajas de cambios manuales automatizadas 146
5.1 > Sensor de posición y recorrido de los actuadores del cambio y del embrague 146
5.2 > Sensores del régimen de giro de los ejes que componen el cambio automatizado 149
5.3 > Sensores de la palanca de cambios 149
5.4 > Otros sensores 149
6 >> Cajas de cambios automatizadas de doble embrague 150
6.1 > Componentes mecánicos de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague 151
6.2 > Circuito hidráulico de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague 153
6.3 > Circuito eléctrico de mando de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague 155

Unidad 7 - Cajas de cambios automáticas 160
1 >> Introducción a los cambios automáticos 161
2 >> Cambios automáticos epicicloidales 162
2.1 > Engranajes epicicloidales o planetarios 162
2.2 > Elementos de mando del tren epicicloidal 165
2.3 > Freno de parking 167

3 >> Circuito hidráulico de un cambio automático epicicloidal 168
3.1 > Bomba de aceite 168
3.2 > Bloque hidráulico 169
3.3 > Intercambiador de calor agua-aceite 170
3.4 > Esquema del circuito hidráulico de un cambio automático 171
4 >> Circuito eléctrico de un cambio automático epicicloidal 172
4.1 > La unidad central de control (UCE) 172
4.2 > Sensores 172
4.3 > Elementos actuadores 173
5 >> Funcionamiento del cambio epicicloidal 174
6 >> Arquitectura de distintos cambios automáticos epicicloidales 176
6.1 > Cambio con tres velocidades 176
6.2 > Cambio con cuatro velocidades 176
6.3 > Cambio con cinco velocidades 177
6.4 > Cambio con seis velocidades 177
7 >> Verificación y comprobación de las cajas de cambio automáticas epicicloidales 178
7.1 > Comprobación de los elementos mecánicos 178
8 >> Proceso de diagnóstico de averías en las cajas de cambios epicicloidales 179
8.1 > Recogida de información sobre las anomalías en el cambio automático 179
8.2 > Comprobación del estado del fluido del cambio automático (ATF) 179
8.3 > Comprobación del estado del convertidor de par y de la presión hidráulica 181
8.4 > Prueba en carretera 182
8.5 > Comprobaciones eléctricas 182
9 >> Cambio automático de variación continua(CVT) 183
9.1 > Conjunto variador 184
9.2 > Tren epicicloidal de los cambios CVT 185

Unidad 8 - El diferencial y los grupos reductores 190
1 >> Grupo de reducción final 191
1.1 > Piñón de ataque 191
1.2 > Corona 192
1.3 > Tipos de grupos de reducción final 192
1.4 > Relación de transmisión de los grupos de reducción final 193
2 >> Reglajes del grupo de reducción final 194
2.1 > Posición del piñón 194
2.2 > Par de giro del piñón 194
2.3 > Par de giro de la corona 195
2.4 > Holgura entre los dientes del conjunto piñón-corona 195
3 >> Diferencial 197
3.1 > Funcionamiento del diferencial 198
3.2 > Bloqueo del diferencial 199

4 >> Diferenciales de deslizamiento limitado (LSD) 200
4.1 > Acoplamiento viscoso 201
4.2 > Acoplamiento de discos de fricción accionados mecánicamente 202
4.3 > Acoplamiento de discos de fricción accionados electrónicamente 202
4.4 > Diferencial de conos de fricción 203
5 >> Diferenciales de deslizamiento limitado sensibles al par de tracción o torsen 204
5.1 > Diferenciales torsen tipo A (T-1) 205
5.2 > Diferenciales torsen tipo B (T-2) 206
5.3 > Diferenciales torsen tipo C (T-3) 207
6 >> Bloqueo electrónico del diferencial 208
7 >> Diferenciales y grupos reductores en vehículos industriales 209
7.1 > Reductora con planetario en el cubo de rueda 209
7.2 > Ejes traseros en tándem 209

Unidad 9 - Mecanismos de transmisión de movimiento 216
1 >> Introducción a los sistemas de transmisión 217
1.1 > Tracción delantera 218
1.2 > Tracción trasera (propulsión) 218
2 >> Árbol de transmisión longitudinal 219
2.1 > Juntas universales 220
3 >> Semiárbol de transmisión (palier) 222
3.1 > Vástago de conexión 223
3.2 > Juntas homocinéticas 223
3.3 > Fuelles 225
4 >> Rodamientos de rueda 228
4.1 > Rodamiento de rodillos cónicos 228
4.2 > Rodamiento de rueda de primera generación 229
4.3 > Rodamiento de rueda de segunda generación 229
4.4 > Rodamiento de rueda de tercera generación 230
4.5 > Anomalías en los rodamientos de rueda 230
5 >> Mantenimiento de la transmisión 231
5.1 > Árboles de transmisión 231
5.2 > Semiárboles de transmisión 232
5.3 > Grasas y fuelles 233

Unidad 10 - Sistemas de tracción 4x4 238
1 >> Sistemas de tracción a las cuatro ruedas (4WD) 239
1.1 > Comportamiento en curvas 240
2 >> Sistemas de tracción 4x4 insertables 241
2.1 > Caja de transferencia con reductora mediante trenes de engranajes 241
2.2 > Caja de transferencia con reductora mediante engranajes y transmisión por cadena 242
2.3 > Caja de transferencia con reductora de tipo epicicloidal y transmisión por cadena 242
2.4 > Otros sistemas de activación de la tracción 4x4 243

3 >> Sistemas de tracción 4x4 conectables automáticamente 244
3.1 > Sistema de acoplamiento multidisco accionado hidráulicamente 244
3.2 > Sistema de acoplamiento multidisco con accionamiento electromagnético 246
3.3 > Sistema de acoplamiento viscoso 247
4 >> Sistemas de tracción 4x4 permanente 248
4.1 > Diferencial central de engranaje cónico 248
4.2 > Diferencial central de engranaje epicicloidal o planetario 249
4.3 > Diferencial central autoblocante tipo torsen 250

Unidad 11 - El sistema de frenos I 256
1 >> Sistema de frenos 257
2 >> Estudio teórico del proceso de frenado 258
2.1 > Fuerza de frenado (F_f) 258
2.2 > Deceleración máxima o eficacia de frenado 258
2.3 > Distancia de parada (D_p) 259
3 >> Sistema de mando del sistema de frenos 260
3.1 > Sistema de mando mecánico 260
3.2 > Sistema de mando neumático 260
3.3 > Sistema de mando hidráulico 261
4 >> Freno de servicio 263
5 >> Pedal del freno 264
6 >> Bomba de freno o cilindro principal 265
6.1 > Bomba de freno tipo tándem con taladro de compensación 266
6.2 > Bomba de freno tipo tándem con válvula central 268
6.3 > Bomba de freno tipo tándem con émbolo buzo 269
6.4 > Depósito o recipiente de compensación 269
7 >> Circuito hidráulico 270
7.1 > Canalizaciones 270
7.2 > Líquido de frenos 271
8 >> Freno de disco 273
8.1 > Disco de freno 274
8.2 > Pastillas de freno 274
8.3 > Pinza o mordaza de freno 274
8.4 > Anillo obturador del pistón 275
8.5 > Testigo de desgaste de las pastillas de freno 275
9 >> Freno de tambor o de expansión 276
9.1 > Constitución del freno de tambor 276
9.2 > Características de funcionamiento 278
9.3 > Sistemas de reglaje automático del freno de tambor 279
10 >> El freno de estacionamiento 280
10.1 > Mando exterior del freno de estacionamiento 280
10.2 > Freno de estacionamiento en freno de disco con aproximación automática de las pastillas 281
10.3 > Freno de estacionamiento electromecánico o freno de aparcamiento eléctrico 282

Unidad 12 - El sistema de frenos II. Mantenimiento 288

1 >> Amplificador del mando de freno o servofreno 289
- 1.1 > Gráfica del funcionamiento del servofreno 289

2 >> Servofreno de vacío (Mastervac) 290
- 2.1 > Servofreno de dos cámaras *(single booster)* 290
- 2.2 > Servofreno con dos etapas *(dual rate)* 293
- 2.3 > Servofreno de cuatro cámaras o en tándem *(tandem booster)* 293

3 >> Sistemas de vacío del servofreno Martervac 294
- 3.1 > Válvula unidireccional de vacío (válvula de retención) 294
- 3.2 > Bomba mecánica de vacío para servofreno (motor diésel) 294
- 3.3 > Bomba eléctrica de vacío para servofreno 295

4 >> Servofreno hidráulico (Hidromaster) 298
- 4.1 > Funcionamiento del regulador de flujo con acumulador hidráulico 299
- 4.2 > Funcionamiento del amplificador hidráulico 299

5 >> Servofreno hidráulico/vacío (Hidrovac) 300
- 5.1 > Funcionamiento del servofreno Hidrovac 301

6 >> Elementos de control de la presión de frenado 303
- 6.1 > Reductor dependiente de la presión o regulador de frenada 304
- 6.2 > Reductor dependiente de la carga o corrector de frenada 305
- 6.3 > Reductor de presión dependiente de la deceleración 305

7 >> Elementos electrónicos del pedal del freno 306
- 7.1 > Conmutador de señal y luz de freno 306
- 7.2 > Interruptor de luz de freno 306
- 7.3 > Transmisor para la posición del pedal del freno 307

8 >> Control del sistema de frenos 309
- 8.1 > Revisión y mantenimiento 309
- 8.2 > Proceso del diagnóstico de averías 309

9 >> Comprobación y verificación de los componentes del sistema de frenos 310
- 9.1 > Comprobación de los forros de freno 310
- 9.2 > Comprobación de los discos de freno 311
- 9.3 > Comprobación de los tambores de freno 313
- 9.4 > Comprobación del servofreno de vacío 314
- 9.5 > Comprobación de la bomba de freno 314
- 9.6 > Comprobación de los manguitos flexibles y las tuberías metálicas 315
- 9.7 > Purgado y sustitución del líquido de frenos 315
- 9.8 > Comprobación de los cilindros de freno de rueda 317

10 >> Frenómetro 318
- 10.1 > Características 318
- 10.2 > Constitución 318
- 10.3 > Realización de la prueba en el frenómetro 319
- 10.4 > Pre-ITV 319

Unidad 13 - El sistema de frenos en vehículos industriales 324

1 >> Sistema de frenos de accionamiento hidroneumático 325

1.1 > Convertidor neumohidráulico 325

2 >> Sistema de frenos de accionamiento neumático 326

2.1 > Circuito de generación de aire comprimido 326

2.2 > Circuito de freno de servicio 329

2.3 > Circuito de freno de estacionamiento 332

2.4 > Circuito de freno del remolque 334

3 >> Deceleradores o *retarders* 335

3.1 > Freno motor 335

3.2 > Ralentizador hidrodinámico 336

3.3 > Ralentizador eléctrico o electromagnético 338

4 >> Sistemas de frenos utilizados en tractores 339

4.1 > Freno de servicio 339

4.2 > Freno de estacionamiento 339

Unidad 14 - Sistema electrónico de frenado y estabilidad (ABS/ESP) 344

1 >> Sistema antibloqueo de frenos (ABS) 345

2 >> Sensores de velocidad de giro de rueda 346

2.1 > Sensor pasivo de tipo inductivo monopolar 346

2.2 > Sensor pasivo de tipo inductivo bipolar 347

2.3 > Sensor activo de tipo magnetorresistivo 348

2.4 > Sensor activo de efecto Hall con anillo multipolo 349

3 >> Unidad de mando (UCE) del sistema electrónico de frenado y estabilidad 353

4 >> Unidad hidráulica del sistema electrónico de frenado y estabilidad 354

4.1 > Sistema con electroválvulas 3/3 vías (ABS Bosch versión 2) 355

4.2 > Sistema con dos electroválvulas 2/2 vías y dos posiciones 355

5 >> Funcionamiento del sistema ABS 356

5.1 > Sistema con electroválvulas 3/3 vías 356

5.2 > Sistema con dos electroválvulas 2/2 vías 358

6 >> Programa electrónico de estabilidad (ESP) 360

6.1 > Sensor combinado de aceleración transversal y de relación de giro 362

6.2 > Sensor de ángulo del volante de dirección 362

6.3 > Sensor de presión del líquido de frenos 365

6.4 > Unidad hidráulica 366

7 >> Funciones asumidas por la unidad de mando del ABS/ESP 367

7.1 > Función EBV 367

7.2 > Función ASR 368

7.3 > Función MSR 368

7.4 > Función BAS 368

7.5 > Funciones adicionales ESP 369

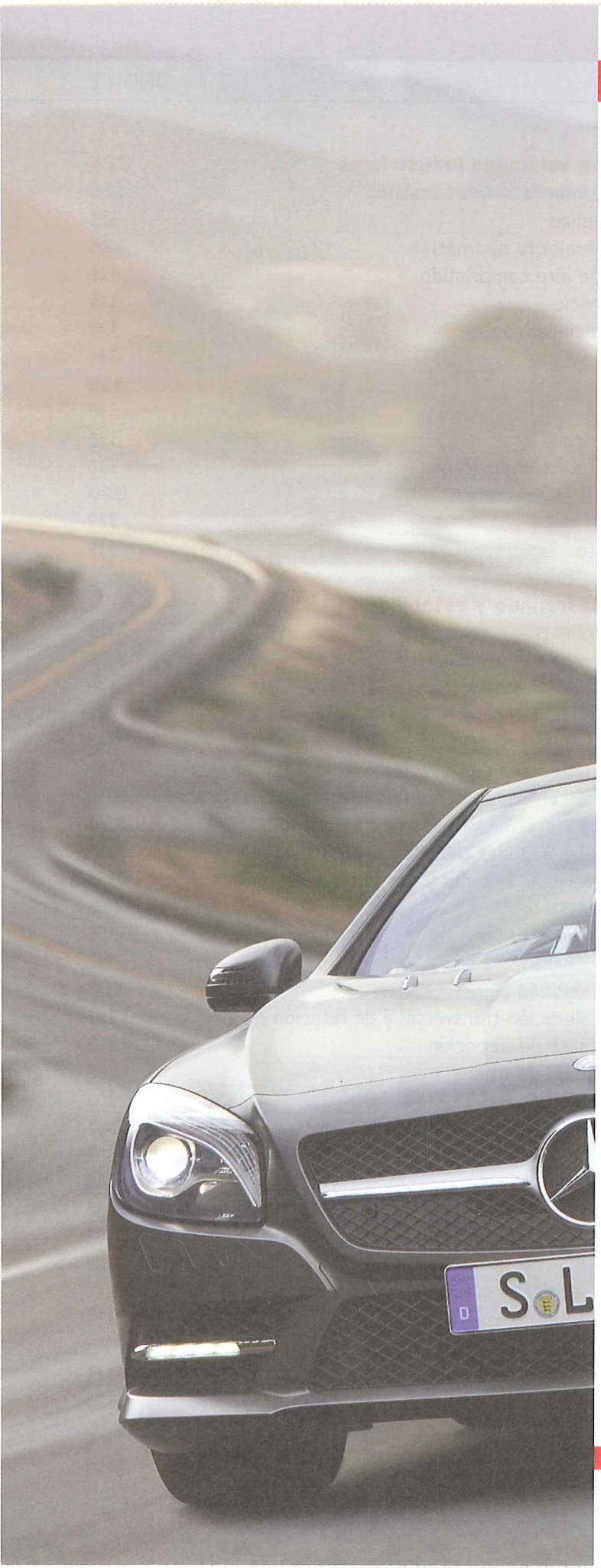
8 >> Mantenimiento del sistema ABS/ESP 371

8.1 > Medidas de seguridad al trabajar con sistemas electrónicos 371

8.2 > Testigos de avería y pulsador para la diagnosis de averías en el sistema ABS/ESP 371

8.3 > Autodiagnosis del sistema ABS/ESP 373

Apéndice: Prevención de riesgos laborales 380



unidad 1

Principios básicos de los sistemas de transmisión en vehículos

SUMARIO

- Dinámica del vehículo
- Elementos del sistema de transmisión de vehículos

OBJETIVOS

- Conocer las componentes físicas que influyen en el movimiento del vehículo.
- Entender de manera global el sistema de transmisión de vehículos.

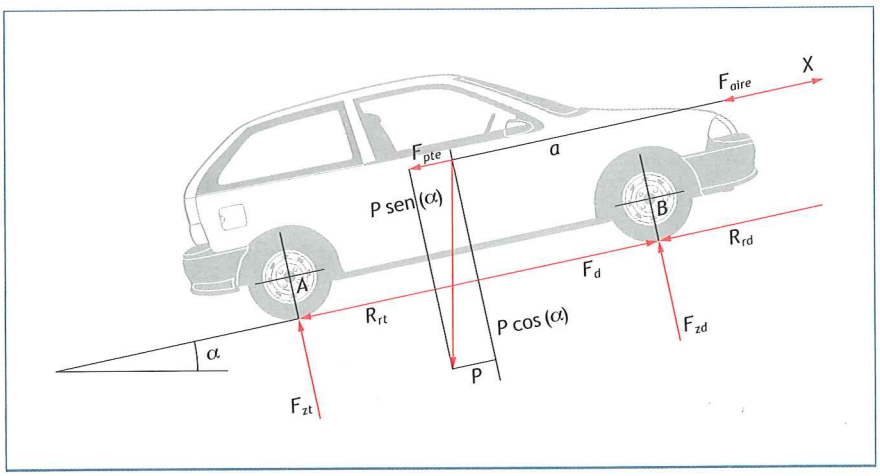
1 >> Dinámica longitudinal del vehículo

La potencia y el par de giro suministrados por el motor del vehículo se transmiten a las ruedas produciendo una fuerza de impulsión que da lugar al desplazamiento del vehículo.

Esta fuerza de impulsión tiene que vencer las fuerzas resistentes que se oponen al desplazamiento del vehículo para conseguir que este avance.

Las fuerzas que actúan en el desplazamiento longitudinal son las siguientes (figura 1.1):

- F_d: esfuerzo de tracción de las ruedas motrices.
- F_{zt} y F_{zd}: fuerzas de reacción en las ruedas delanteras y traseras, perpendiculares al terreno y de igual magnitud que el peso que gravita sobre cada rueda.
- F_{aire}: fuerza de resistencia aerodinámica.
- F_{pte}: fuerza de resistencia debida a la pendiente.
- R_{rd} y R_{rt}: resistencia a la rodadura de las ruedas delanteras y traseras, respectivamente.



1.1. Dinámica longitudinal del vehículo.

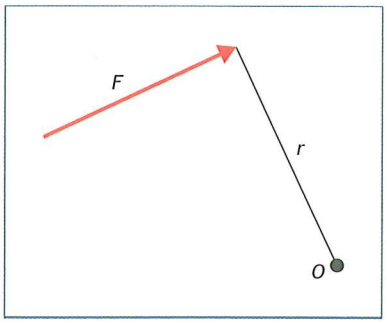
Aplicando la segunda ley de Newton para el eje X de desplazamiento longitudinal, tenemos la siguiente fórmula:

$$\sum F_x = m \cdot a_x$$

El sumatorio de las fuerzas que actúan sobre un vehículo, de masa m, producirá su desplazamiento con una aceleración a_x. Por tanto, para calcular el desplazamiento se suman las fuerzas que producen el avance del vehículo y al resultado se le restan las que se oponen. Si el resultado final es positivo, el vehículo se desplazará con una determinada aceleración:

$$m \cdot a_x = F_d - R_r - F_x \cdot a - P \text{ sen } (x)$$

Una vez que el vehículo se desplaza con una velocidad constante, la aceleración es igual a cero y las fuerzas aplicadas sobre él para desplazarlo son de la misma magnitud y de sentido contrario a las que se oponen a dicho desplazamiento.



1.2. Par de una fuerza.

1.1 > Fuerza de impulsión en la rueda

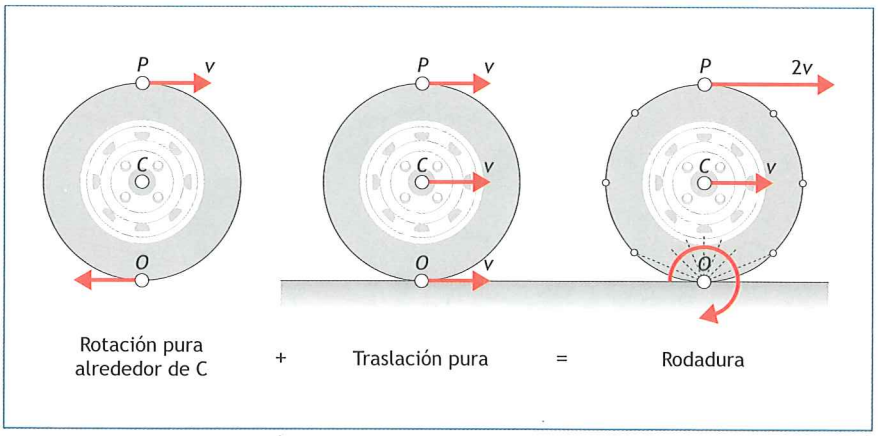
El estudio matemático del movimiento de las ruedas de un vehículo cuando les llega el movimiento del sistema de transmisión se realiza mediante una magnitud llamada par o momento (M).

El par de una fuerza (F) con respecto a un punto (O) se define como el producto de la fuerza por la distancia mínima (r) desde ese punto al punto de aplicación de la fuerza (figura 1.2):

$$M = F \cdot r$$

El movimiento de rodadura de las ruedas es la suma de dos movimientos simultáneos: uno de rotación respecto de su eje y otro de traslación sobre el terreno (figura 1.3).

Para que se cumpla esa condición, es preciso considerar que la rueda, de manera instantánea, gira respecto del punto de contacto con el suelo. Como la rueda avanza, ese punto de la rueda gira y es sustituido por otro punto de contacto.



1.3. Movimiento de rotación, de traslación y de rodadura de la rueda respecto de su eje.

Para que se produzca el giro de la rueda respecto del punto de contacto, intervienen dos fuerzas:

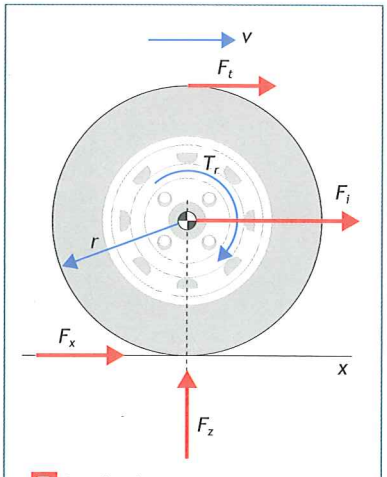
- La fuerza tangencial (F_t), aplicada en la rueda por el par de giro que recibe del motor.
- La fuerza de rozamiento o adherencia (F_{roz}) paralela al suelo, aplicada en el punto de contacto, que evita que la rueda patine.

La acción de la fuerza tangencial aplicada en la rueda crea un par de giro que produce el desplazamiento de la rueda, apareciendo una fuerza de impulsión (F_i) en su eje de rotación.

Con el producto de esta fuerza por el radio de la rueda (r) se obtiene el par de tracción de la rueda (M_t):

$$M_t = F_i \cdot r$$

Es importante no olvidarse de que para que este par de giro produzca la rotación de la rueda respecto del punto de contacto del neumático con el suelo tiene que existir la fuerza de rozamiento.



1.4. Fuerzas que actúan en la rueda.

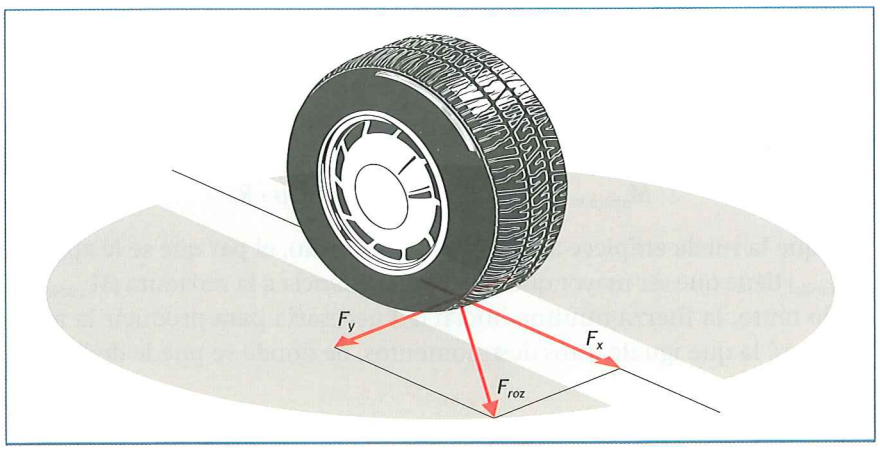
Fuerza de rozamiento

La fuerza que limita el máximo par de tracción es la fuerza de rozamiento. Cuando se sobrepasa esta fuerza, la rueda ya no gira respecto del punto de contacto con el suelo y se produce el deslizamiento o patinado.

La fuerza de rozamiento (F_{roz}) es proporcional al peso ($m \cdot g$) y al coeficiente de rozamiento (μ):

$$F_{roz} = \mu \cdot m \cdot g$$

La fuerza de rozamiento en el punto de contacto del neumático con el suelo se descompone en dos fuerzas: una en sentido longitudinal o de tracción (F_x) y otra en sentido transversal o de guiado (F_y). La suma de ambas da lugar a la circunferencia (círculo de Kamm) de máxima adherencia del neumático con la calzada.



1.5. Círculo de Kamm.

Este círculo representa el límite de adherencia máximo para que la rueda siga girando transmitiendo la fuerza de tracción longitudinal (F_x) y la fuerza lateral de guiado (F_y). Si se superan estos límites, la rueda patina.

Del círculo de adherencia de Kamm se deduce que los vehículos con cuatro ruedas motrices presentan mejores condiciones de adherencia que los vehículos con dos ruedas motrices, ya que en los 4x4 el par motor se divide entre cuatro y, de este modo, en cada rueda la fuerza de tracción aplicada es menor que en los vehículos con dos ruedas motrices y, por tanto, resulta más complicado superar el círculo de adherencia máximo.

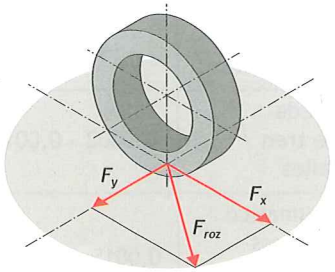
Esta fuerza de rozamiento también interviene en el frenado. En este caso, el par que se transmite a la rueda es el par de frenado y la fuerza de rozamiento actúa en el sentido opuesto al avance del vehículo. También, si se supera la adherencia máxima del neumático, la rueda se bloquea sobre el terreno (desliza) provocando que el vehículo no se pueda controlar y aumentando la distancia de frenado.

Determinados sistemas presentes en los vehículos, como el ABS o el ASR, se encargan de controlar las fuerzas que ejerce el neumático sobre el suelo para que no se supere esta zona de adherencia y evitar así que el vehículo derrape o patine.

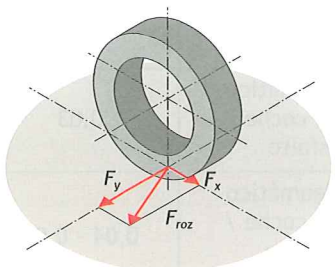
Coeficiente de rozamiento

El coeficiente de rozamiento (μ) que afecta a los vehículos depende del tipo de neumático, del área de contacto del neumático con el terreno y del tipo y estado del terreno.

Coeficientes de rozamiento (μ)	
Tipo de calzada	μ
Con hielo	0,1 aprox.
Con nieve derretida	0,2
Con barro	0,3
De asfalto y mojada	0,4
De asfalto seca y lisa	0,5
De asfalto rugoso	0,6
De asfalto uniforme y granulado	0,8



Dos ruedas motrices



Cuatro ruedas motrices

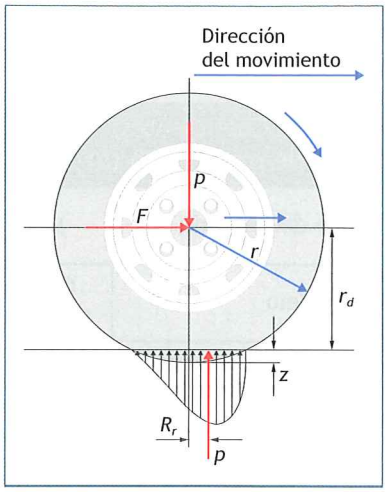
1.6. Círculos de Kamm en los vehículos con dos y cuatro ruedas motrices.

1.2 > Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura se produce cuando la rueda, al rodar, o la superficie sobre la que se apoya la rueda se han deformado, aunque sea mínimamente. Estas deformaciones aparecen debido a las grandes presiones que existen en la zona de contacto del neumático y el suelo.

La resistencia a la rodadura debida a la deformación del neumático produce una deceleración de la velocidad angular de la rueda y, por tanto, pérdidas de energía que calientan el neumático y la calzada.

Al deformarse el neumático, las fuerzas que trabajan en el eje vertical (Y), la carga que actúa sobre el eje de la rueda (p) y su fuerza de reacción, generada por el terreno, ya no actúan en la misma línea de acción, sino que se desplazan entre ellas una pequeña distancia que viene determinada por la deformación del neumático (figura 1.7). Este desplazamiento se denomina coeficiente de **resistencia a la rodadura** (R_r).



1.7. Resistencia a la rodadura.

Así, el par aplicado a la rueda ($M_{aplicado}$) y el par de resistencia a la rodadura ($M_{r.rodadura}$) son:

$$M_{aplicado} = F \cdot r_d \qquad M_{r.rodadura} = p \cdot R_r$$

Para que la rueda empiece a rodar sobre el terreno, el par que se le aplique ($M_{aplicado}$) tiene que ser mayor que el par de resistencia a la rodadura ($M_{r.rodadura}$). Por lo tanto, la fuerza mínima inicial (F_0) necesaria para producir la rodadura será la que iguale estos dos momentos, de donde se puede deducir lo siguiente:

$$M_{aplicado} = M_{r.rodadura} \Rightarrow F_0 \cdot r_d = p \cdot R_r \Rightarrow F_0 = \frac{R_r}{r_d} \cdot p$$

De esta fórmula se deduce que la fuerza necesaria para el inicio de la rodadura es inversamente proporcional al radio de la rueda (r_d).

El valor del coeficiente de resistencia a la rodadura se suele representar con el símbolo μ_r y está condicionado por la deformación de los cuerpos en contacto, lo que depende de una gran cantidad de factores que se describen en la siguiente tabla:

Factores que intervienen en la resistencia a la rodadura (μ_r)	
Relativos a	Factores
El vehículo	Tamaño, peso, distribución de pesos y carga aplicada en los ejes
El terreno	Tipo de material, rugosidad y textura, estado (seco o mojado) y consistencia
La temperatura	Temperatura del aire, del neumático y de la zona de contacto
El neumático	Material con que está fabricado, tipo de construcción (radial o diagonal), composición química, propiedades elásticas, dureza, edad, estado de desgaste y presión de inflado

Coeficientes de resistencia a la rodadura (μ_r)	
Rueda / superficie	Valor
Rueda de tren / raíles	0,0002 - 0,001
Neumático *tubeless* de baja resistencia	0,0015 - 0,0025
Neumático de camión / asfalto	0,006 - 0,01
Neumático de coche / asfalto	0,03
Neumático de coche / camino de tierra	0,04 - 0,08
Neumático de coche / arena suelta	0,2 - 0,4

1.3 > Resistencia del aire

El aire ejerce una fuerza de oposición al ser atravesado por los vehículos. Esta fuerza viene dada matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$F_{aire} = P_s \cdot A_f \cdot C_x$$

– P_s es la presión superficial del aire, que se calcula con la fórmula:

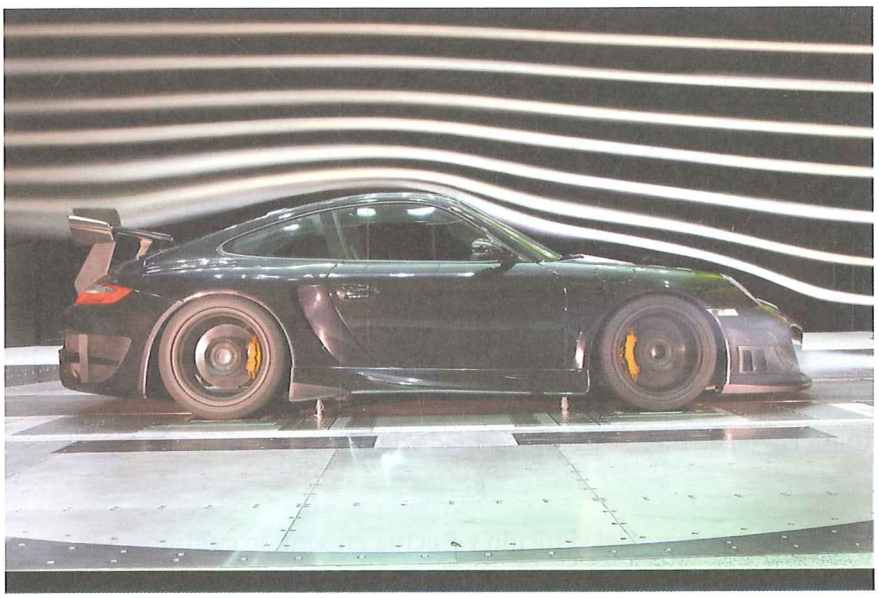
$$P_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v \pm v_o)^2$$

- ρ es la densidad del aire en kg/m³. En condiciones normales de temperatura y presión vale 1,225 kg/m³.
- v es la velocidad de marcha del vehículo en m/s.
- v_o es la velocidad del viento en m/s.
- El signo positivo indica que el aire sopla en contra de la marcha del vehículo y el negativo que sopla a favor.

– A_f es el área frontal del vehículo en m². Se calcula (siendo b el ancho y h el alto) con la fórmula $A_f = 0{,}85 \cdot b \cdot h$.

– C_x es el coeficiente de resistencia al aire de la superficie frontal del vehículo.

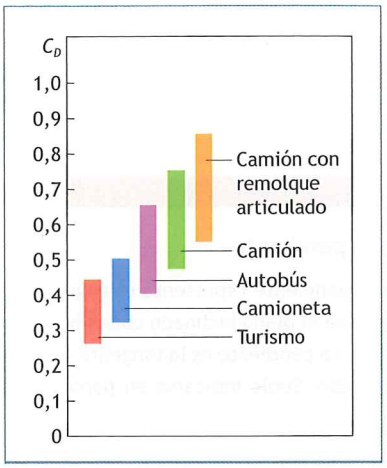
En función de la forma y dimensiones de la superficie frontal del vehículo y la superficie de penetración del aire, se producirá una mayor o menor resistencia del aire. Esta resistencia aumenta si se generan turbulencias o remolinos (figura 1.10).



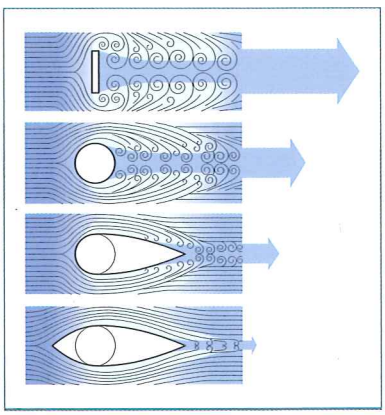
1.9. Medida del coeficiente de resistencia al aire en el tunel del viento.

También, como se ve en la fórmula de la presión superficial del aire, la resistencia aumenta de forma cuadrática con el crecimiento de la resultante de la velocidad del vehículo y del aire.

Actualmente se están introduciendo en el diseño de los vehículos los últimos avances en aerodinámica con el fin de reducir la resistencia del aire y rebajar el consumo de combustible.



1.8. Coeficientes de resistencia al aire de distintos vehículos.



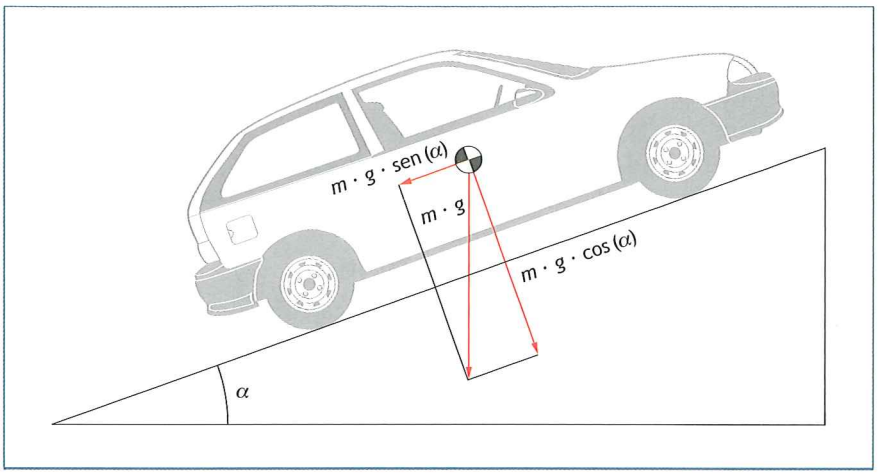
1.10. Resistencia aerodinámica dependiendo de la forma.

1.4 > Resistencia debida a la pendiente

La resistencia debida a la pendiente dificulta la ascensión del vehículo por un plano inclinado debido a la oposición de una componente de su peso. Esta fuerza de resistencia se aplica en el centro de gravedad del vehículo.

La pendiente

La pendiente representa el ángulo que forma el plano inclinado con la horizontal. La pendiente es la tangente de este ángulo. Suele indicarse en porcentaje.



1.11. Diagrama de fuerzas de un vehículo en pendiente.

La fuerza de resistencia debido a la pendiente (F_{pte}) viene dada por la siguiente fórmula:

$$F_{pte} = m \cdot g \cdot \text{sen}\,(\alpha)$$

Donde m es la masa del vehículo y g, la gravedad (9,81 m/s^2).

1.5 > Resistencia por inercia

En las fuerzas de resistencia que se oponen al desplazamiento del vehículo han de incluirse las fuerzas de inercia, que son unas fuerzas que actúan cuando se producen variaciones en la velocidad, es decir, cuando aparece la aceleración del vehículo.

Estas fuerzas de inercia se oponen a que el vehículo cambie de velocidad e influyen, por tanto, en su capacidad de aceleración y de frenado.

La fuerza (F) de inercia es representada de forma simplificada como:

$$F = m \cdot a$$

Donde m es la masa del vehículo y F actúa en sentido contrario a la aceleración (a).

1.6 > Rendimiento mecánico de la transmisión

En la transmisión del movimiento se producen pérdidas por rozamientos mecánicos, cambios de dirección del movimiento, etc.

Estas pérdidas producen que el rendimiento de la transmisión (η_t) no sea del 100% sino un poco inferior, alrededor del 85-90%, con lo que la potencia transmitida desde el motor a las ruedas se verá reducida en una cantidad del 10 al 15%.

1.7 > Potencia necesaria para vencer las resistencias a la marcha

La potencia (P) necesaria para vencer las resistencias que se oponen a la marcha del vehículo para que este se desplace longitudinalmente viene dada por la siguiente ecuación:

$$P = R_t \cdot v$$

Donde R_t es la suma de todas las fuerzas de resistencia y v es la velocidad del vehículo.

Con esta potencia, el vehículo se desplazaría con una velocidad constante v, por ser iguales las fuerzas de impulsión y las fuerzas de resistencia ($F_i = R_t$) y, por tanto, la aceleración sería igual a cero.

Con la ecuación matemática siguiente se obtiene la potencia en kW, con la fuerza dada en newtons (N) y la velocidad en km/h, que desarrolla un vehículo que circula por una pendiente:

$$P = \frac{(F_{pte} + F_{aire}) \cdot v}{3\,600 \cdot \eta_t}$$

- F_{pte}: fuerza de resistencia por la pendiente.
- F_{aire}: fuerza de resistencia del aire.
- η_t: rendimiento de la transmisión, que suele ser del 85% = 0,85.

Casos prácticos

Cálculo de la potencia necesaria para mover un vehículo

•• Calcula la potencia que tiene que ejercer un vehículo de 1 200 kg de masa para subir una pendiente del 14% a 30 km/h con un viento a favor de 30 km/h.

Solución •• Para realizar el cálculo utilizaremos la fórmula de la potencia:

$$P = \frac{(F_{pte} + F_{aire}) \cdot v}{3\,600 \cdot \eta_t}$$

Empezamos calculando las fuerzas de resistencia:

- La pendiente del 14% equivale a subir un plano inclinado de 8° de inclinación, por lo que la fuerza de resistencia a la pendiente será:

$$F_{pte} = m \cdot g \cdot \text{sen}\,(\alpha) = 1\,200 \cdot 9{,}81 \cdot \text{sen}\,(8°) = 1\,638{,}35 \text{ N}$$

- Como el viento va a favor del vehículo y a su misma velocidad, el aire no presenta resistencia:

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (30 - 30)^2 = 0 \Rightarrow F_{aire} = P_s \cdot A_f \cdot C_x = 0 \text{ N}$$

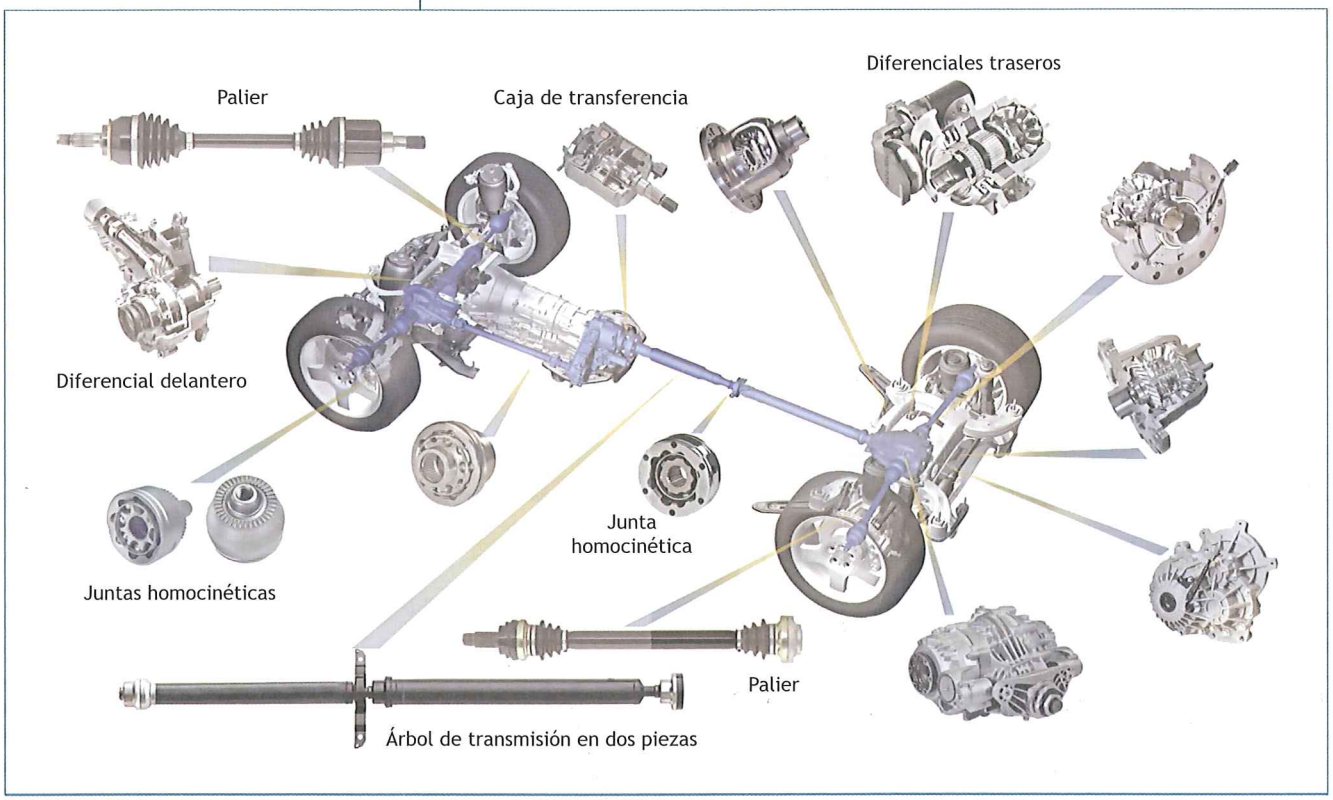
Con lo anterior, y considerando el rendimiento de la transmisión de un 85%, la potencia necesaria para subir la pendiente con una velocidad de 30 km/h será:

$$P = \frac{(F_{pte} + F_{aire}) \cdot v}{3\,600 \cdot \eta_t} = \frac{(1\,638{,}35 + 0) \cdot 30}{3\,600 \cdot 0{,}85} = 16{,}06 \text{ kW}$$

2 >> Elementos que componen el sistema de transmisión de los vehículos

El sistema de transmisión de los vehículos está compuesto por una serie de elementos encargados de transmitir la energía proporcionada por el motor a las ruedas para que estas produzcan el desplazamiento del vehículo.

A continuación se explican de forma breve los elementos que conforman este sistema y en unidades posteriores se tratarán ampliamente.



1.12. Distintos elementos que componen la transmisión de un vehículo.

2.1 > Embrague

1.13. Embragues.

El embrague se encarga de conectar y desconectar el par de giro suministrado por el motor al eje de entrada a la caja de cambios.

Los embragues más utilizados obtienen la transmisión del movimiento gracias a la fricción entre dos elementos. Esta fricción puede producirse en seco o en húmedo, como es el caso de los discos de embrague bañados en aceite.

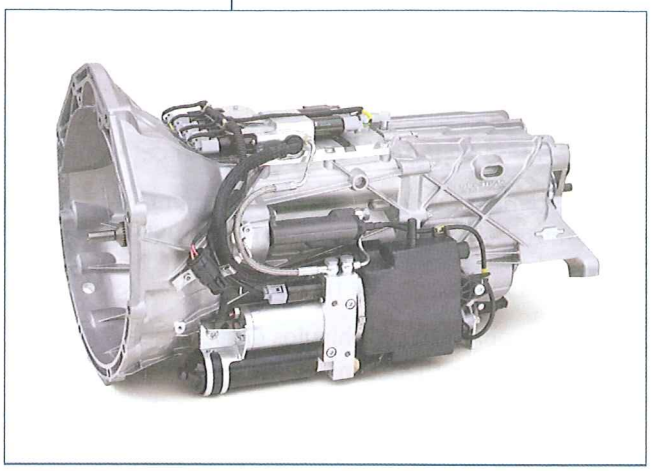
También se utilizan embragues hidráulicos o convertidores de par con cambios automáticos, donde el movimiento se transmite gracias al desplazamiento de un fluido.

2.2 > Caja de cambios

La caja de cambios es un elemento mecánico de la transmisión en el que se produce una desmultiplicación del régimen de giro entre el eje de entrada, que lo recibe del embrague, y el eje de salida, que transmite el movimiento al diferencial.

En función de la relación de transmisión seleccionada en el cambio (marcha insertada), se obtiene una desmultiplicación de giro y una multiplicación de par determinadas.

Dependiendo de cómo se consigan las distintas relaciones de transmisión en las cajas de cambios, se distinguen distintos tipos de cajas. Así, existen cambios manuales, cambios automáticos epicicloidales, variadores CVT y cambios automatizados.



1.14. Caja de cambios.

2.3 > Árboles de transmisión y juntas homocinéticas

Los ejes o árboles de transmisión se encargan de transmitir el movimiento desde el eje de salida del cambio de velocidades al diferencial. Estos ejes pueden estar divididos en varias partes y disponen de juntas homocinéticas en sus extremos para poder transmitir el giro, aunque el eje conductor y el eje conducido no estén alineados debido a los continuos movimientos de la suspensión.

En función de la manera en que estén montados en el vehículo, longitudinal o transversalmente, y del número de ejes motrices, el vehículo presentará uno o dos árboles de transmisión. También puede ocurrir que no tenga ninguno si el diferencial y el cambio de velocidades van colocados en la misma carcasa de soporte.

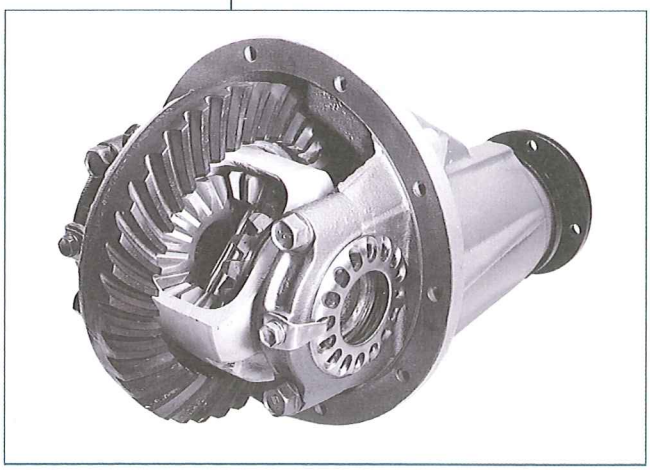
Los ejes que transmiten el movimiento desde el diferencial a las ruedas se denominan semiejes de transmisión o palieres. Estos también presentan juntas homocinéticas.

2.4 > Diferencial

El diferencial se encarga de repartir el par motor por igual entre las dos ruedas motrices de un mismo eje y de permitir que ambas giren a distinta velocidad cuando el vehículo toma una curva para evitar que se produzcan deslizamientos en alguna de ellas.

Cada eje motriz del vehículo debe disponer de un diferencial.

Si el vehículo posee tracción a las cuatro ruedas, también puede presentar otro elemento encargado de repartir el par motor a los dos ejes motrices denominado diferencial central, el cual permite que los dos ejes giren a distinta velocidad al tomar una curva.



1.15. Diferencial.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

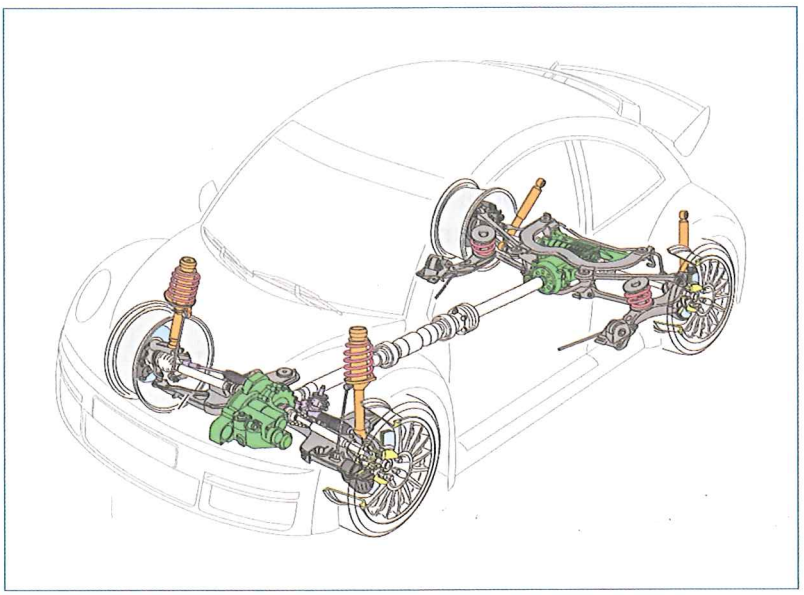
1·· Explica qué es la fuerza de adherencia o de rozamiento entre el neumático y la calzada. ¿Esta fuerza tiene el mismo sentido en la tracción y el frenado del vehículo? Razona tu respuesta.

2·· ¿El coeficiente de adherencia o rozamiento tiene el mismo valor que el coeficiente de rodadura? ¿Cómo crees que resultará más costoso empujar un vehículo: con las ruedas bloqueadas o permitiendo que las ruedas giren?

3·· Explica la función que realiza el embrague en la cadena cinemática de la transmisión de un vehículo.

4·· Explica por qué los vehículos dotados de cuatro ruedas motrices presentan mayor capacidad de tracción que los vehículos con dos ruedas motrices.

5·· Dada la cadena cinemática del siguiente vehículo, nombra los elementos que la componen explicando su función en la transmisión del movimiento desde el motor a las ruedas:



.: APLICACIÓN :.

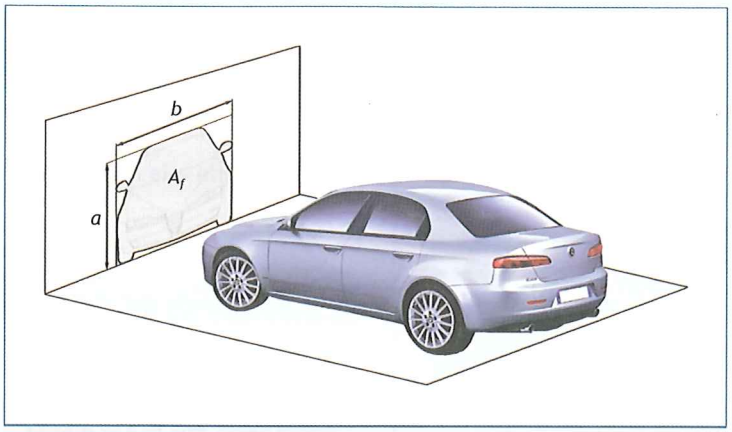
1·· Calcula la resistencia que opone el aire al ser atravesado por un vehículo de turismo con una superficie frontal de 1,9 m^2 que se desplaza a una velocidad de 100 km/h. La densidad del aire es de 1,112 kg/m^3 y el coeficiente aerodinámico (C_x) 0,24.

Caso final

Cálculo de la resistencia ejercida por el aire en el desplazamiento del vehículo

•• Calcula la fuerza ejercida por el viento en el desplazamiento de un vehículo Alfa Romeo 159 cuando se desplaza por una autopista con una velocidad de 120 km/h y el viento en calma.

Solución •• El vehículo en cuestión presenta un coeficiente aerodinámico (C_x) de 0,325 y sus dimensiones frontales son 1 828 mm de ancho (b) y 1 422 mm de alto (h).



1.16. Área frontal del vehículo.

La resistencia debida al aire o resistencia aerodinámica viene dada por la siguiente fórmula:

$$F_{aire} = P_s \cdot A_f \cdot C_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v \pm v_o)^2 \cdot 0{,}85 \cdot b \cdot h \cdot C_x$$

Antes de aplicar la fórmula debemos tener en cuenta lo siguiente:

- La densidad del aire (ρ) en condiciones normales de temperatura y presión es de 1,225 kg/m³.
- v_O = 0 m/s, ya que el viento se encuentra en calma.
- Las medidas frontales deben estar expresadas en metros. Así, b = 1,828 m y h = 1,422 m.
- La velocidad debe estar expresada en m/s:

$$v = 120 \text{ km/h} = \frac{120 \cdot 1\,000}{3\,600} \text{ m/s} = 33{,}33 \text{ m/s}$$

1.17. Vista frontal del vehículo.

Con esto ya podemos calcular la fuerza del aire:

$$F_{aire} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}225 \cdot (33{,}33)^2 \cdot 0{,}85 \cdot 1{,}828 \cdot 1{,}422 \cdot 0{,}325$$

$$F_{aire} = 488{,}6 \text{ N}$$

Ideas clave

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

- **Dinámica longitudinal del vehículo**
  - Par o momento — $M = F \cdot r$
  - Fuerza de impulsión de la rueda
  - Fuerza de rozamiento — $F_{roz} = \mu \cdot m \cdot g$
  - Resistencia a la rodadura
  - Resistencia del aire — $F_{aire} = P_s \cdot A_f \cdot C_x$; $P_s = \frac{1}{2} \rho \cdot (v \pm v_o)^2$
  - Resistencia por la pendiente — $F_{pte} = m \cdot g \cdot \text{sen}(\alpha)$
  - Resistencia por inercia
  - Rendimiento mecánico de la transmisión
  - Potencia para vencer las resistencias a la marcha — $P = \frac{(F_{pte} + F_{aire}) \cdot v}{3\,600 \cdot \eta_t}$
- **Elementos que componen el sistema de transmisión de los vehículos**
  - Embrague
  - Caja de cambios
  - Ejes de transmisión y juntas homocinéticas
  - Diferencial

Neumáticos de baja resistencia a la rodadura

Según los estudios realizados en el mundo del automóvil, de la energía disponible en el combustible solamente se aprovecha entre un 12 y un 20% para producir el movimiento del vehículo.

Las pérdidas de energía tienen lugar en el motor del vehículo, en la cadena cinemática de la transmisión y, también, en la rodadura del neumático sobre el terreno.

Por ello los fabricantes de neumáticos están diseñando nuevos modelos que presenten menor resistencia a la rodadura para reducir el gasto de combustible sin que se reduzca la adherencia del neumático con la calzada.

Aunque la resistencia a la rodadura depende de muchos factores, se estima que del 5 al 15% del consumo de combustible en los vehículos de turismo se utiliza para vencer esta resistencia, rango que aumenta de un 15 a un 30% en vehículos industriales pesados.

Por tanto, si se lograra reducir esta resistencia en los neumáticos, se conseguiría disminuir el consumo de combustible. Distintos estudios estiman que reduciendo un 10% la resistencia a la rodadura se lograría un ahorro de consumo de entre un 1 y un 2%.

Para medir la resistencia a la rodadura se sigue un determinado método de análisis, que viene especificado en distintas normas oficiales. Una de las más empleadas es la norma J1269 de la Society of Automotive Engineers (SAE), que mide la resistencia a la rodadura haciendo girar la rueda sobre un dinamómetro a una velocidad fija de 50 millas por hora. Otra norma de la SAE, la J2452, mide esta resistencia a determinadas velocidades de la rueda.

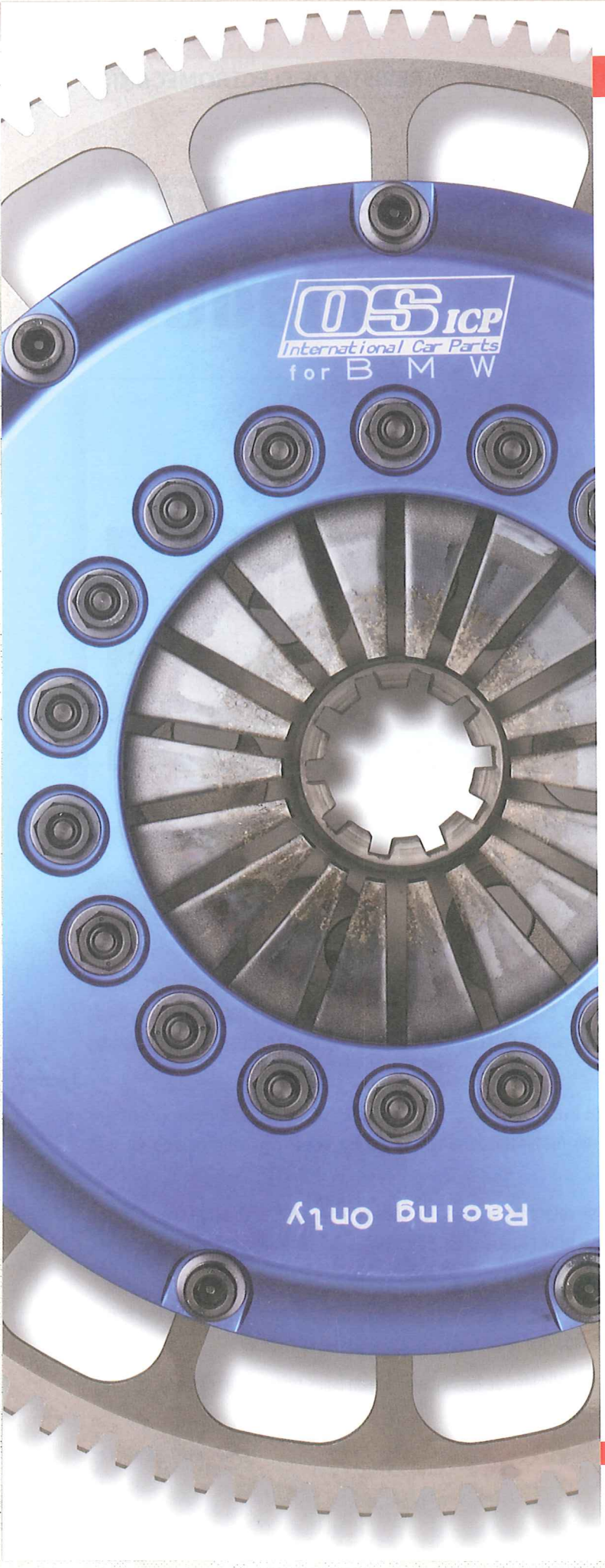
Para conseguir neumáticos de baja resistencia a la rodadura o neumáticos «verdes» o ecológicos, los fabricantes han utilizado nuevos elementos en la banda de rodadura del neumático, como bases de silicio que van reemplazando el uso del negro del carbón, consiguiendo un gran rendimiento del neumático sobre suelo mojado.

Fabricantes como Michelin utilizan en la fabricación de la goma que se coloca en la banda de rodadura del neumático un nuevo elemento llamado DSC. Este elemento sin compuestos aromáticos proporciona una gran capacidad de adherencia en el frenado, manteniendo al mismo tiempo una alta estabilidad de la zona de contacto.

Michelin también emplea en la fabricación de la banda de rodadura del neumático un compuesto denominado green power compound con el cual se consigue una gran adherencia del neumático sobre suelo mojado al tiempo que la vida útil del neumático no se reduce.

En esta fabricación, Michelin utiliza además helio, elemento que mejora las cualidades de los neumáticos con bajas temperaturas (menos de 7 °C), consiguiendo mejorar el rendimiento del neumático sobre nieve, hielo y agua.

Fuente: www.michelin.es



unidad 2

El embrague de fricción

SUMARIO

- Principio de funcionamiento del embrague de fricción
- Elementos que componen el embrague de fricción
- Tipos de embragues de fricción
- Accionamiento del embrague de fricción
- Averías en el embrague de fricción
- Comprobaciones en el embrague de fricción

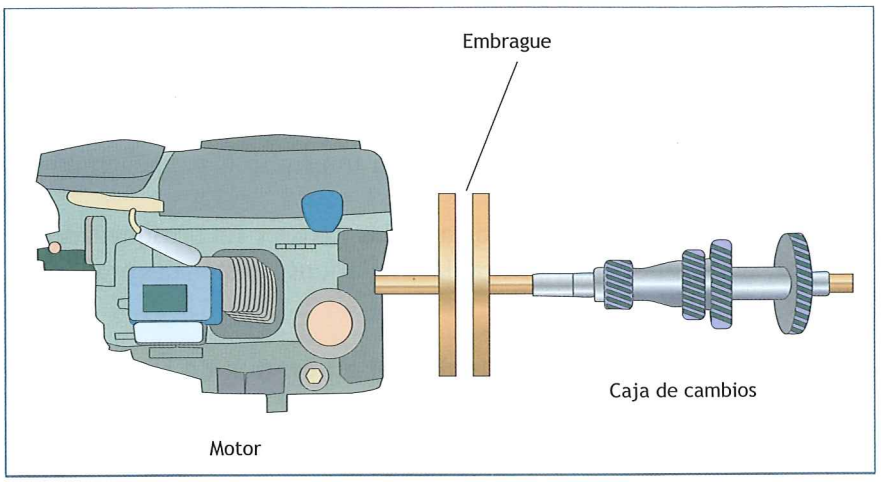
OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento y los elementos que componen un embrague de fricción.
- Conocer los distintos tipos de embragues de fricción.
- Diagnosticar las posibles anomalías que pueden presentar los embragues de fricción.

1 >> Necesidad y funciones del embrague

El embrague es el elemento encargado de unir el motor al sistema de transmisión del vehículo, conectando y desconectando el giro del motor del eje de entrada al cambio de velocidades.

El embrague es necesario para poder parar el vehículo con el motor en marcha y para poder acoplar o desacoplar el giro del motor del siguiente elemento de la cadena cinemática de la transmisión, que es la caja de cambios.



2.1. Situación del embrague en el sistema de transmisión.

Las cajas de cambios manuales necesitan ser desacopladas del giro del motor para poder realizar el cambio de marchas, función que, como ya sabemos, es realizada por el embrague.

El embrague también se encarga de filtrar las irregularidades (vibraciones) producidas por el motor debido a las explosiones cíclicas ocasionadas durante su funcionamiento. Cuanto mejor se filtren estas vibraciones, menos pasarán a la caja de cambios, eliminándose irregularidades en la cadena cinemática de la transmisión.

Esta transmisión del movimiento se puede realizar de varias formas, distinguiéndose así diferentes tipos de embragues:

- **Embragues de fricción:** en ellos la transmisión se realiza mediante la unión por fricción de dos elementos. Esta fricción se puede producir en seco o con los dos elementos bañados en aceite.
- **Embragues hidráulicos:** en ellos la transmisión del movimiento se realiza mediante un líquido, generalmente aceite. Este tipo de embrague tiene un funcionamiento automático.
- **Embragues electromagnéticos:** en ellos la transmisión se realiza electromagnéticamente. La corriente eléctrica, al pasar por una bobina, genera campos magnéticos que se utilizan para unir los elementos encargados de realizar la transmisión del movimiento.

En esta unidad se explica el embrague de fricción, que es el más utilizado en vehículos.

2 >> Embrague de fricción

El embrague de fricción transmite el movimiento, como indica su nombre, mediante la unión por fricción de dos elementos: el volante de inercia del motor, que es el elemento conductor o el que transmite el movimiento, y el disco de embrague, que es el elemento conducido.

Para que el movimiento sea transmitido al disco de embrague es necesario que este sea empujado contra el volante de inercia para lograr que los dos elementos sean solidarios. Esta presión es ejercida por el mecanismo de presión.

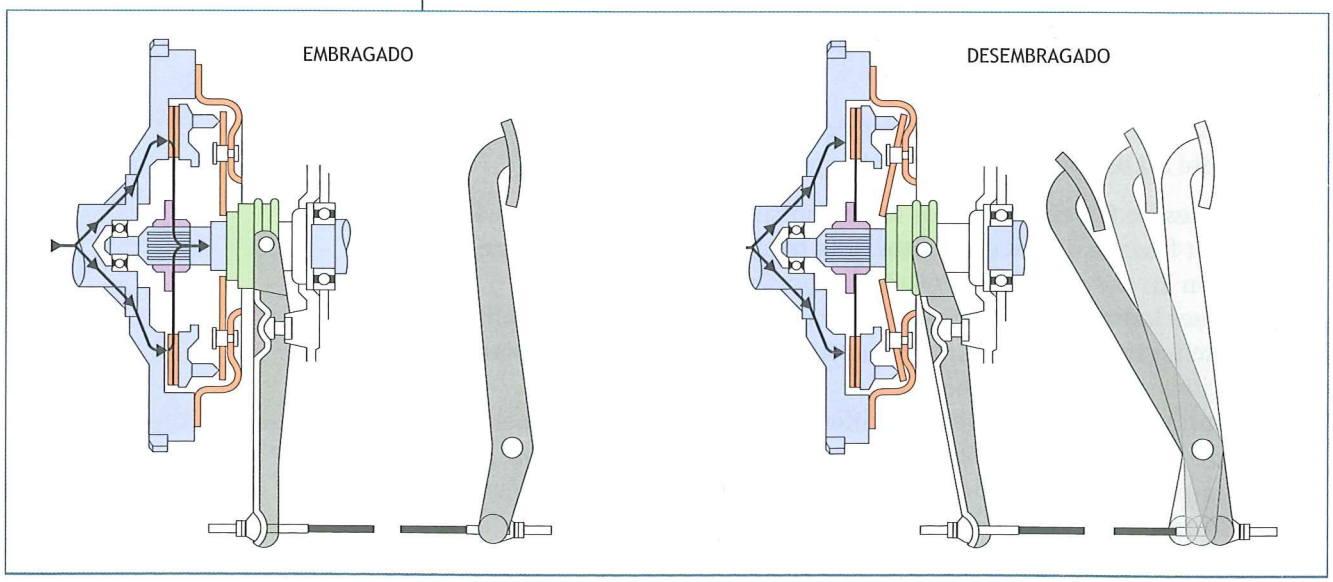
Para realizar correctamente sus funciones, los embragues de fricción deben poseer una serie de cualidades entre las que destacan las siguientes:

- Elevada resistencia térmica para poder absorber las altas temperaturas que se producen (600-700 °C).
- Elevada resistencia mecánica para poder transmitir el par generado por el motor.
- Elasticidad para proporcionar arrancadas suaves y sin brusquedades.
- Capacidad de amortiguar y filtrar las oscilaciones torsionales producidas por el motor.

2.1 > Principio de funcionamiento del embrague de fricción

El embrague de fricción tiene dos posiciones (figura 2.2):

- **Embragado:** en esta posición el volante de inercia del motor gira arrastrando el disco de embrague, que es presionado contra el volante por el mecanismo de presión. El giro es transmitido al eje de entrada del cambio de velocidades.
- **Desembragado:** en esta posición el pedal del embrague está accionado y, así, el mecanismo de presión ya no empuja el disco de embrague contra el volante de inercia, desconectándose el movimiento hacia el eje de entrada del cambio.

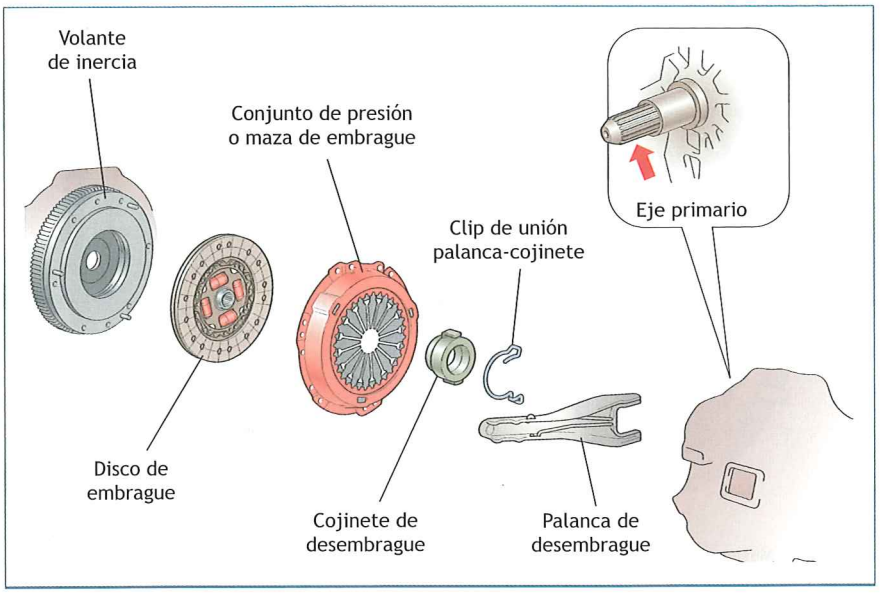


2.2. Posiciones del embrague.

3 >> Composición del embrague de fricción

Los elementos que componen el embrague de fricción son (figura 2.3):

- El volante de inercia.
- El disco de embrague.
- El mecanismo de presión.
- El cojinete de desembrague.



2.3. Situación del embrague en el sistema de transmisión.

3.1 > Volante de inercia

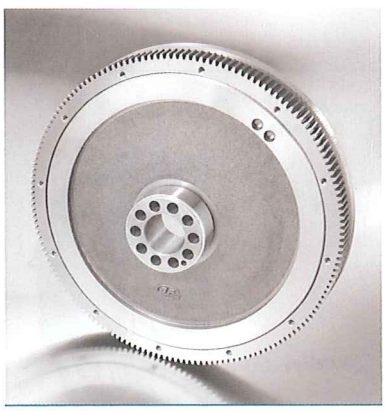
El volante de inercia es un gran disco de acero que va atornillado en un extremo del cigüeñal (figura 2.4).

Su cometido es regular el funcionamiento del motor acumulando energía cinética durante la fase activa del mismo y restituyéndola después durante las tres fases pasivas, lo que permite regularizar el giro del motor.

El volante de inercia presenta una superficie de fricción para el disco de embrague donde va atornillada la carcasa del conjunto de presión. En el centro va colocado el rodamiento que soporta el extremo del eje de entrada al cambio.

El funcionamiento normal del motor de combustión provoca vibraciones torsionales en el sistema de transmisión debido a las bruscas aceleraciones o deceleraciones del conductor o bien a cambios en el par resistente soportado por el vehículo. Estas vibraciones se transmiten al sistema de transmisión, reduciendo el confort de la conducción y aumentando el riesgo de daños en los componentes de la transmisión.

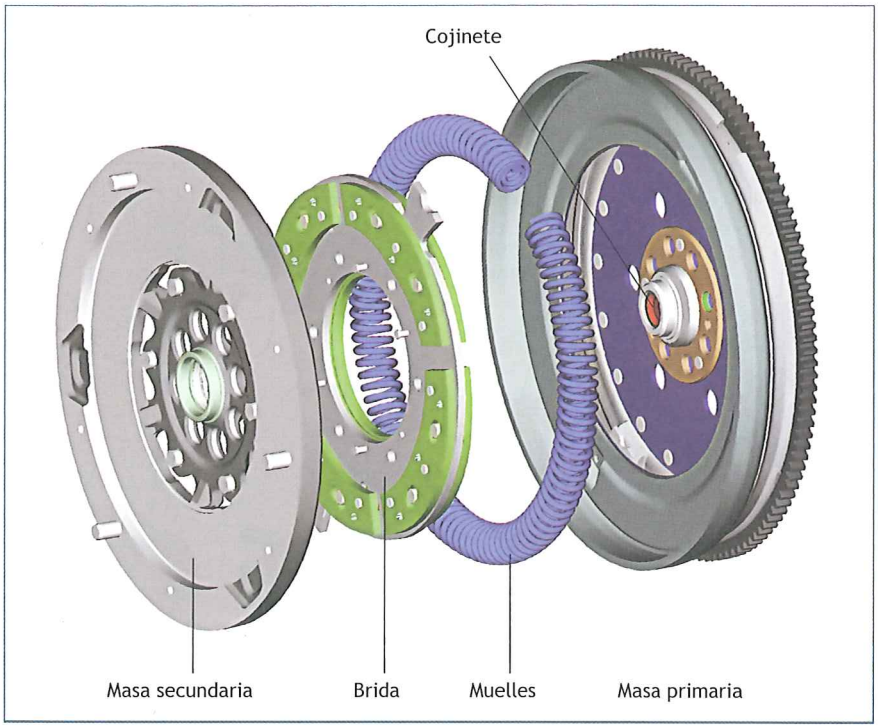
En los motores actuales, que suministran una gran cantidad de par, para evitar estas vibraciones se monta un volante de inercia especial, el volante de inercia de dos masas o bimasa, que se encarga de absorber y amortiguar estas vibraciones torsionales.



2.4. Volante de inercia.

Volante de inercia bimasa

Los componentes principales del volante de inercia bimasa son la masa primaria, los muelles, la brida, el cojinete y la masa secundaria.



2.5. Componentes del volante de inercia bimasa.

Este volante está compuesto por dos masas unidas entre sí por un sistema de muelles y amortiguación, de forma que la masa de inercia secundaria puede girar varios grados respecto a la primaria.

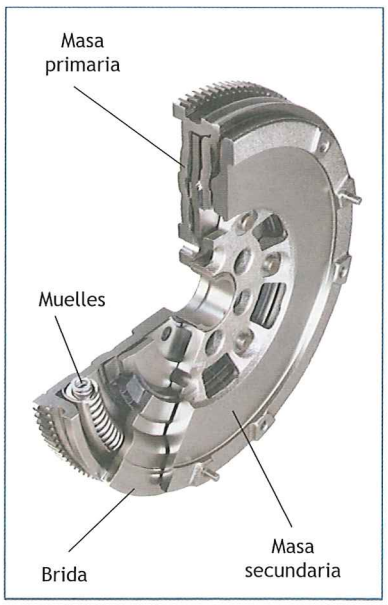
La **masa de inercia primaria** está unida al cigüeñal mediante tornillos. En su interior se forma un canal dividido en dos partes por unos topes, donde van colocados los dos muelles curvos que transmiten el par motor a la masa secundaria.

La **brida** es la pieza encargada de transmitir el giro desde la masa primaria a la masa secundaria. Para realizar esta función tiene dos salientes, situados de modo diametralmente opuesto, que van colocados en los canales de los muelles, en el espacio dejado entre los topes de los muelles curvos. En su parte interna va remachada a la masa secundaria.

Existen bridas con muelles internos que sirven para amortiguar aún más el giro que se transmite desde la masa primaria a la secundaria.

El **cojinete**, de fricción o de bolas, colocado sobre un asiento dispuesto en la masa primaria, soporta la masa secundaria y permite el giro entre las dos masas.

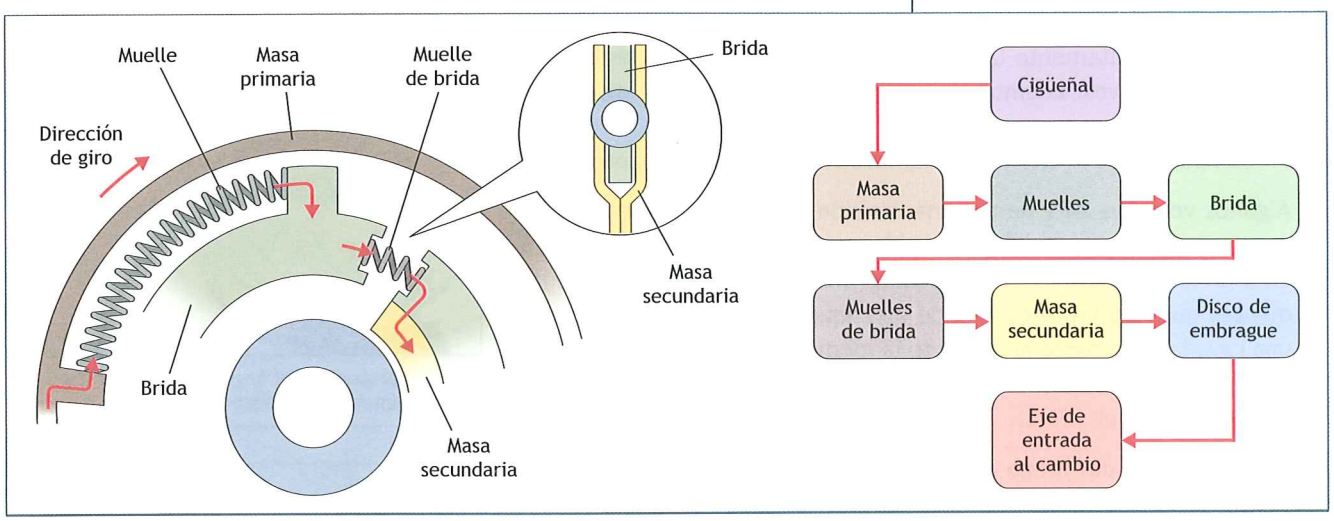
Este cojinete también permite un desplazamiento axial entre ambas masas que sirve para absorber el esfuerzo de desembragado producido en la masa secundaria.



2.6. Sección del volante de inercia bimasa.

La **masa secundaria**, remachada a la brida, recibe el giro y se lo transmite por fricción al disco de embrague, que va colocado en su cara exterior. Además, a la masa secundaria va atornillada a la carcasa del embrague con el mecanismo de presión.

El funcionamiento del volante de inercia bimasa consiste en que la masa primaria, al girar el motor, empuja el muelle por un extremo, mientras el otro extremo está apoyado en la brida. Al ir comprimiéndose el muelle, va girando la brida y, por tanto, también la masa secundaria y el disco de embrague unido a ella.



2.7. Funcionamiento del volante de inercia bimasa.

La gran variedad de montajes de muelles curvos que existe hace posible que se disponga de volantes adaptados a distintos tipos de motores.

Con este sistema elástico se consigue absorber las vibraciones producidas en el motor antes de que pasen al resto de la cadena cinemática, y así se aumenta el confort de la marcha y la duración de los elementos del cambio.

Técnica

Comprobaciones de un volante de inercia bimasa

•• Las comprobaciones más habituales que se suelen realizar en un volante bimasa son:

- El ángulo libre o ángulo de incidencia, que es lo que pueden girar entre sí la masa primaria y la secundaria hasta que actúe la fuerza de los muelles curvos.
- El juego axial o juego de inversión, que es la basculación de la masa secundaria debido al rodamiento axial.

Estas comprobaciones necesitan del empleo de unas herramientas especiales (figura 2.8) y han de realizarse en el vehículo con el embrague desmontado.

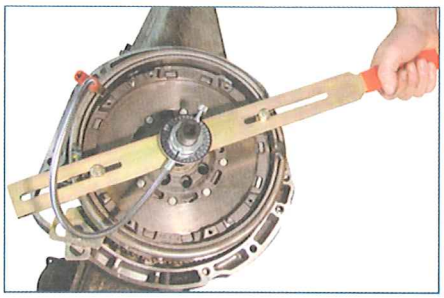
2.8. Herramientas necesarias para comprobar el volante de inercia bimasa.

»

Comprobación del ángulo de incidencia o ángulo libre

1. Montamos la palanca y la herramienta de bloqueo en el volante.
2. Montamos el disco graduado.
3. Determinamos el ángulo de incidencia girando la palanca en sentido antihorario hasta notar la fuerza de los muelles.
4. Soltamos lentamente la palanca hasta que se hayan destensado los muelles curvos.
5. Ponemos el disco graduado a cero y giramos la palanca en sentido horario hasta notar la fuerza de los muelles curvos.
6. Soltamos lentamente la palanca hasta que se hayan destensado los muelles curvos. Leemos el ángulo de incidencia en el disco graduado.
7. Comparamos el valor con el suministrado por el fabricante.

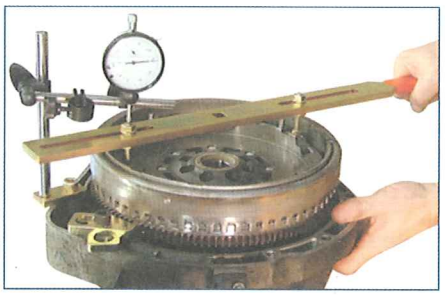
Algunos volantes ZMS tienen una división de agujeros irregular, en cuyo caso no se puede colocar la palanca a través del eje central. En ellos el ángulo de incidencia se determina a través del número de dientes que hay en la corona de arranque. Primero se marcan con una raya las dos masas al inicio de la medición y, tras realizar el proceso descrito anteriormente, se cuentan los dientes que hay entre la posición inicial y final.



2.9. Comprobación del ángulo de incidencia del volante bimasa con el disco graduado.

Comprobación del juego axial

1. Montamos la palanca y la herramienta de bloqueo en el volante.
2. Montamos el soporte con el reloj comparador.
3. Movemos ligeramente la palanca hacia el motor hasta notar una pequeña resistencia.
4. Mantenemos la palanca en dicha posición y ponemos el reloj comparador a cero.
5. Tiramos de la palanca ligeramente en el sentido contrario al motor hasta notar resistencia y leemos el valor en el reloj comparador.
6. Comparamos el dato con el suministrado por el fabricante.



2.10. Comprobación del juego axial del volante bimasa con reloj comparador.

Tabla de valores bimasa

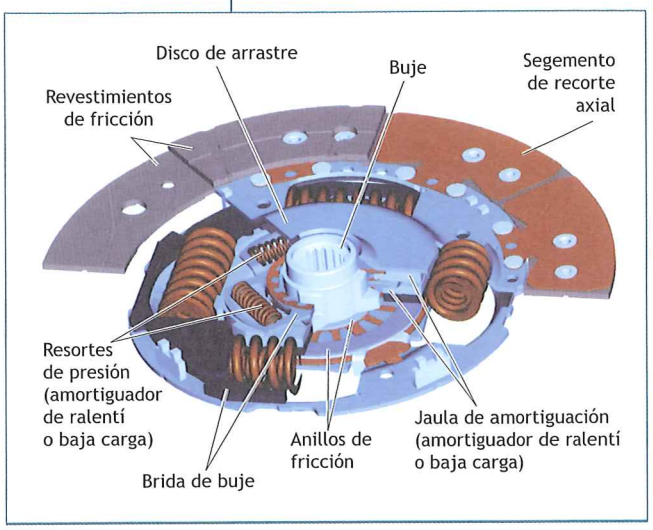
Referencia LuK	Máximo ángulo libre (°)	Dientes de la corona del motor de arranque (Número)	Máx. juego Axial (mm)	Disco de control de fricción (sí/no)
415000111	15	5	1,6	×
415000310	3	1	1,6	✓
415000510	2	1	1,6	✓
415000610	2	1	1,6	✓
415000910	2	1	1,6	×
415001110	11	5	1,6	×
415001210	10	4	1,6	✓
415001310	11	5	1,6	✓
415001411	11	5	1,6	✓
415001511	15	5	1,6	×
415001610	19	6	1,6	×
415001711	15	5	1,6	×
415001810	5	2	1,6	×
415001811	5	2	1,6	×

2.11. Tabla de valores de referencia de los volantes bimasa de la marca LUK.

3.2 > Disco de embrague

El disco de embrague es el elemento que transmite el par motor desde el volante de inercia al eje de entrada al cambio de velocidades, de forma suave y progresiva, cuando es comprimido entre el plato de presión y el volante de inercia del motor.

El disco de embrague está formado por los forros de fricción, el disco de arrastre y el amortiguador torsional.



2.12. Componentes del disco de embrague.

Forros de fricción

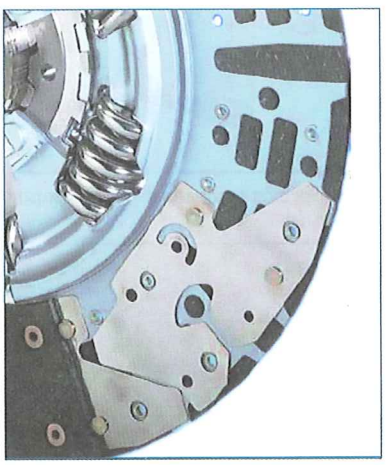
Los forros de fricción son la parte del disco que roza por una de sus caras con el volante de inercia y por la otra con el plato de presión del embrague. Este rozamiento genera la fricción entre estos elementos y su unión. Cuanto mayor sea el coeficiente de rozamiento de los forros de fricción, mayor será su capacidad de transmisión del movimiento.

Los forros de fricción van remachados a ambos lados del disco de arrastre. Están fabricados con materiales que poseen un elevado coeficiente de rozamiento y una gran resistencia mecánica y térmica: material orgánico en los turismos y materiales metal-cerámicos en vehículos especiales y tractores.

Disco de arrastre

El disco de arrastre es el elemento que une los forros de fricción al amortiguador torsional. En su centro se encuentra un tubo hueco dotado de acanaladuras llamado **cubo estriado**, donde encaja perfectamente el eje de entrada al cambio de velocidades.

Para que esto tenga lugar posee unos segmentos elásticos, donde van remachados los forros, que presentan una forma ondulada sin carga en el disco de embrague. Cuando el disco de embrague es presionado, estos segmentos se comprimen proporcionando progresividad en el embrague.



2.13. Unión del disco de arrastre con los forros de fricción.

Amortiguador torsional

El amortiguador torsional se encarga de suavizar y reducir las vibraciones producidas por el giro irregular del motor, sobre todo en el embragado, la aceleración y la deceleración del mismo. Para ello el disco de embrague no transmite el movimiento directamente desde el disco de arrastre al cubo estriado, sino que dicho cubo engrana con otro llamado **brida de empuje.**

El disco de arrastre transmite el giro a los muelles del amortiguador, que se apoyan en la brida de empuje, provocando primero su compresión y después la transmisión del par al eje de entrada del cambio de velocidades. Este giro relativo entre el disco de arrastre y la brida de empuje del cubo estriado está limitado por un tope.

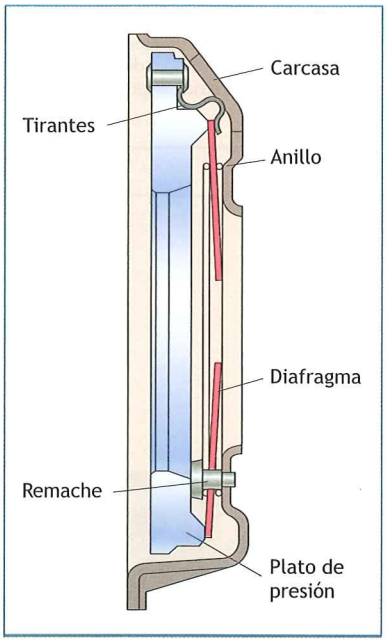
La dureza de los muelles y su cantidad definen distintos tipos de amortiguadores torsionales del disco de embrague. Con este montaje la compresión de los muelles absorbe las vibraciones originadas en el motor.

3.3 > Mecanismo de presión

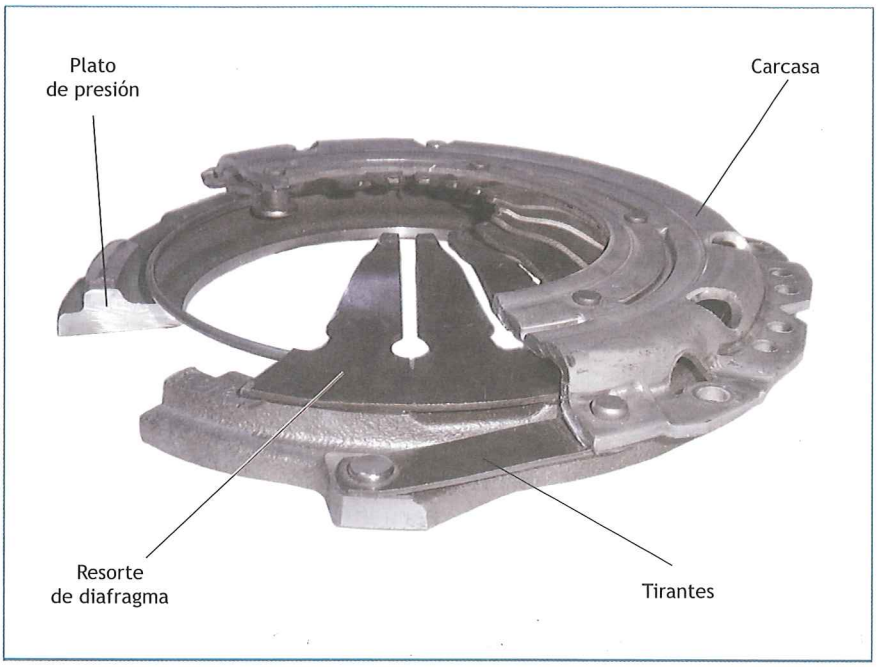
El mecanismo de presión o maza de embrague es el elemento encargado de apretar el disco de embrague contra el volante de inercia para crear la fricción entre ambos y así transmitir el par motor al eje de entrada a la caja de cambios.

Este elemento está diseñado para apretar de forma adecuada el disco de embrague y disipar el calor generado en la fricción entre los elementos del embrague.

Para llevar esto a cabo el mecanismo se compone de la carcasa, el resorte de diafragma o de muelles y el plato de presión (figuras 2.14 y 2.15).



2.14. Sección transversal del mecanismo de presión.



2.15. Mecanismo de presión del embrague de fricción.

2.16. Embrague de muelle.

Carcasa

Esta parte soporta los elementos de presión (diafragma o muelles) y el plato de presión y va atornillada al volante de inercia del motor.

El plato de presión va unido a la carcasa mediante tirantes colocados tangencialmente, los cuales permiten su desplazamiento en el sentido axial que se produce en el desembragado.

Resorte de diafragma o de muelles

Los resortes son los elementos que empujan el plato de presión contra el volante de inercia, apretando el disco de embrague entre ambos. Pueden ser de dos tipos: de muelles o de diafragma.

Los muelles van colocados en el diámetro exterior, comprimidos entre la carcasa y el plato de presión, y generan así la fuerza de empuje necesaria para apretar el disco de embrague. La cantidad y el tipo de muelles que se utilizan varían dependiendo del par motor que se vaya a transmitir.

El resorte de diafragma es un disco cónico de acero dotado de una determinada elasticidad y que posee unos cortes radiales que forman los dedos o puntas del diafragma.

El diafragma apoya su parte exterior en el plato de presión y, mediante acanaladuras o anillos en la carcasa del embrague, se monta con una determinada conicidad para generar la fuerza de apriete en el plato de presión.

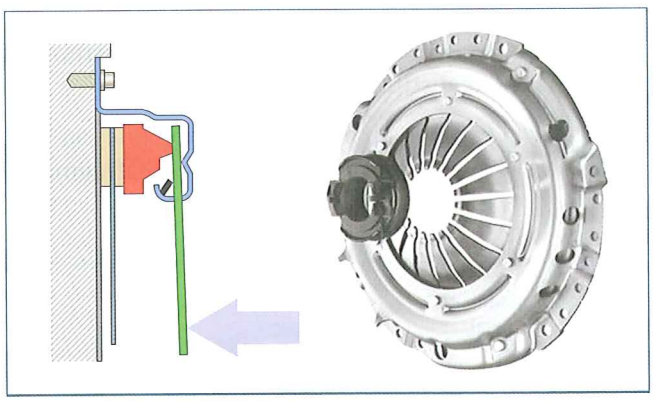
La fuerza que ejerce el diafragma sobre el plato de presión depende del ángulo de montaje, de su espesor, del diámetro exterior e interior y del tratamiento térmico del material.

Cuando se pisa el pedal del embrague, el cojinete de desembrague invierte la conicidad del diafragma, provocando que el plato de presión se desplace hacia la carcasa y que se libere así el disco de embrague.

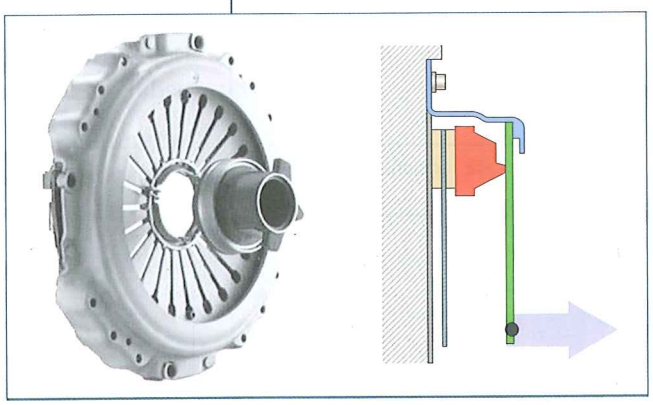
El resorte de diafragma presenta ciertas ventajas respecto a los embragues de muelles:

- Elevadas fuerzas de apriete con bajas fuerzas de desembrague.
- Insensibilidad a elevados regímenes de giro.
- Aumenta la fuerza que ejerce el plato de presión sobre el disco de embrague a medida que este se desgasta.

Dependiendo de la construcción del embrague de diafragma, se puede distinguir entre embragues de empuje y embragues de tiro.



2.17. Diafragma de empuje.



2.18. Diafragma de tiro.

En los **embragues de empuje** (figura 2.17) la conicidad del diafragma está orientada hacia el exterior de la carcasa, al contrario que en los de tiro donde el cojinete, en el desembragado, tira del diafragma en sentido opuesto al volante de inercia.

En los **embragues de tiro** (figura 2.18) el diafragma está articulado en un punto exterior de la carcasa. Con esto se consigue un brazo de palanca menor y, así, para la misma fuerza de apriete en el plato de presión se necesita aplicar una menor fuerza de desembrague en el diafragma.

En el embrague de tiro no hacen falta los remaches ni los puntos de pivotamiento en la carcasa que invierten la conicidad del diafragma. Esto permirte que su construcción sea menos rígida, que disminuya su peso y que aumente la evacuación del calor del embrague.

Plato de presión

El plato de presión es un disco de acero macizo que aprieta el disco de embrague contra el volante de inercia cuando es empujado por el diafragma o por los muelles.

Se une a la carcasa por medio de unos resortes de láminas tangenciales, llamados tirantes. Esta unión le permite desplazarse axialmente respecto a la carcasa cuando se produce el accionamiento del embrague.

Los tirantes se encargan de centrar el plato y de devolverlo a su posición cuando cesa el accionamiento del embrague.

3.4 > Cojinete de desembrague

El cojinete de desembrague es el elemento encargado de empujar o tirar del diafragma para realizar el embragado.

Este cojinete consta de una camisa de poliamida sobre la que se sitúa un rodamiento, el cual actúa sobre las puntas del diafragma en el desembragado. Este rodamiento posibilita el desplazamiento entre la palanca de accionamiento donde va colocado el cojinete y el diafragma del embrague.

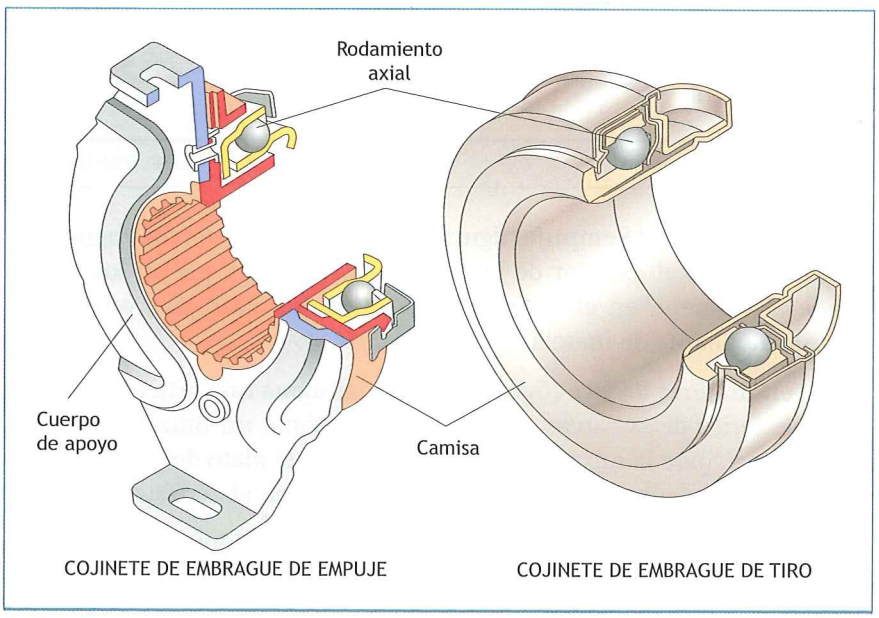
El montaje de los cojinetes puede ser de dos tipos, dependiendo de si están separados o no del diafragma en el embragado:

- Con guarda.
- En apoyo constante.

Dependiendo del tipo de cojinete que se utilice, el reglaje de la carrera del pedal del embrague se realizará de distintas formas.

Actualmente se tiende a usar el cojinete en apoyo constante, pues su vida es mayor por no producirse el golpeo contra las puntas del diafragma en el desembragado.

2.19. Palanca de accionamiento del embrague.



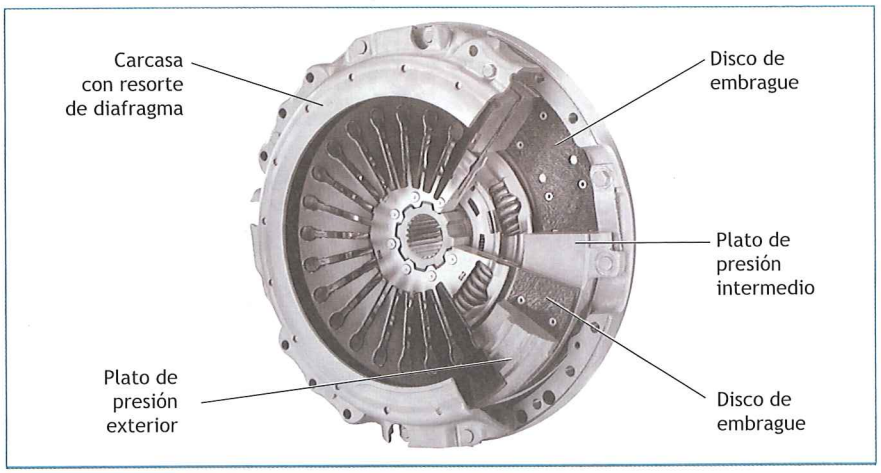
2.20. Cojinetes de desembrague.

4 >> Tipos de embragues de fricción

Los embragues de fricción presentan varios tipos constructivos diferentes: bidisco, multidisco bañado en aceite y autoajustable.

4.1 > Embrague bidisco

Los embragues bidisco constan de dos discos de embrague que engranan con el mismo eje de entrada al cambio de velocidades.



2.21. Embraque bidisco.

En este tipo de embrague el par motor se transmite por medio de cuatro superficies de fricción y, de esta forma, con la misma fuerza de empuje en el plato de presión se puede transmitir el doble de par.

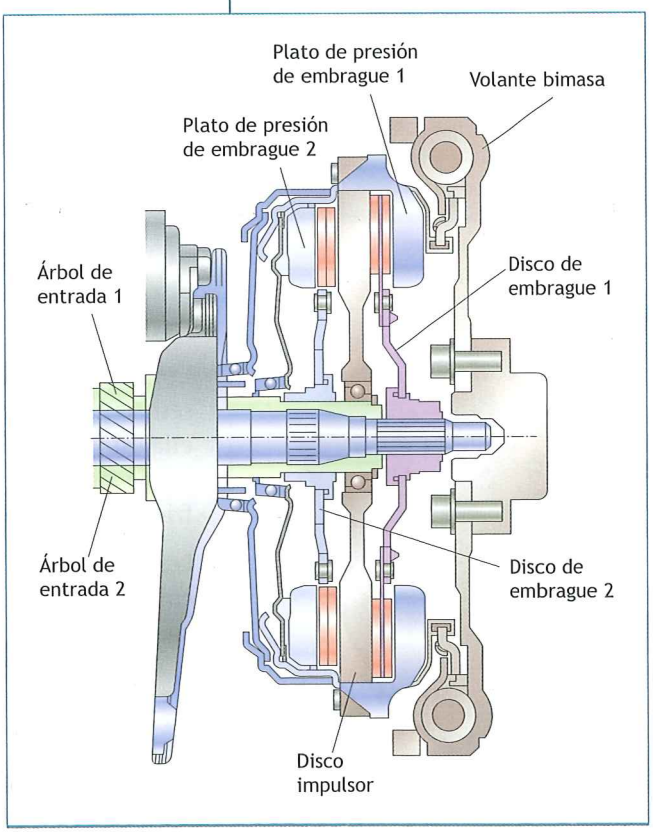
Dispone de un plato de presión intermedio entre los dos discos de embrague que está unido al plato de presión principal por un número mayor de tirantes que en los platos de presión convencionales, lo que permite la elevación de dicho plato intermedio (figura 2.21).

El plato intermedio se fabrica fundido en hueco para poder disipar mejor el calor y su elevación se controla mediante pasadores para conseguir un desgaste homogéneo de los dos discos de embrague.

Este tipo de embrague se utiliza en vehículos con gran par motor, ya que necesitarían un disco de embrague de gran diámetro.

Existen vehículos dotados de un embrague bidisco, como los tractores, donde cada uno de los discos va a un eje de accionamiento independiente: uno al primario de la transmisión y otro a la toma de fuerza del tractor.

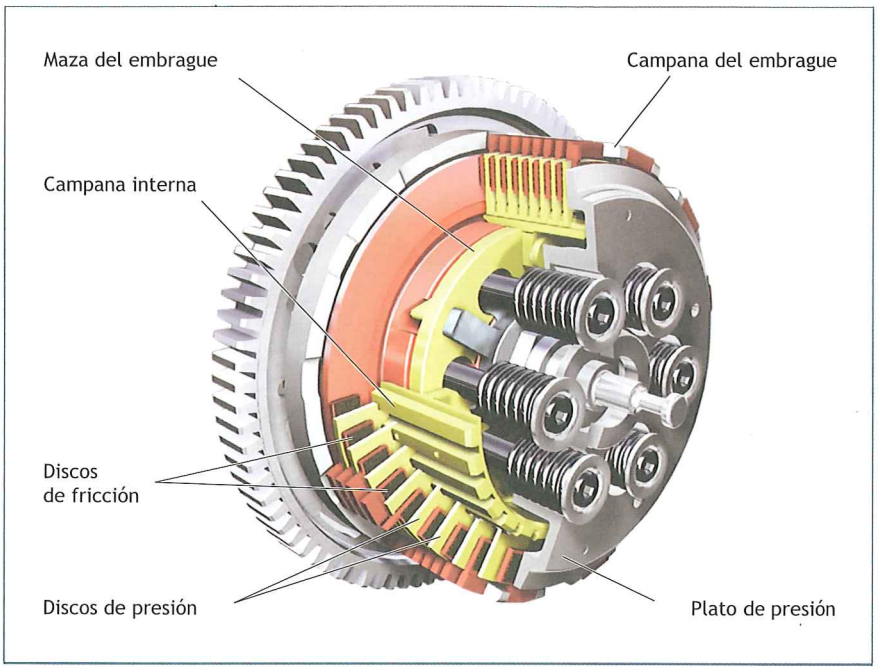
Los nuevos cambios de doble embrague también presentan embragues bidisco. En ellos cada disco está engranado con un eje primario del cambio de velocidades.



2.22. Embrague bidisco en un cambio de doble embrague.

4.2 > Embrague multidisco bañado en aceite

Los embragues multidisco están compuestos por un conjunto de discos de fricción intercalados entre discos de presión, todos ellos bañados en aceite.



2.23. Embrague multidisco bañado en aceite.

Los discos de presión tienen un estriado interior que engrana con un eje o campana del embrague, mientras que los de fricción presentan un estriado exterior y van engranados interiormente en una campana concéntrica a la del embrague.

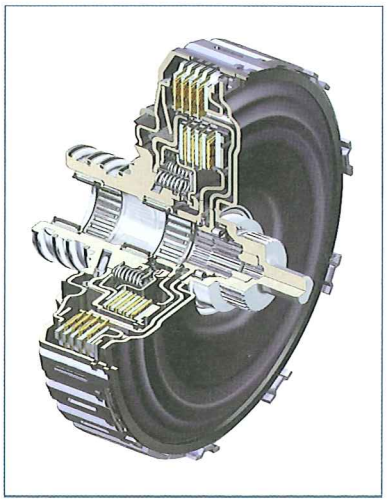
Cuando se aplica la fuerza de empuje, los discos de presión aprietan los discos de fricción, haciendo solidarias en el giro a las dos campanas y transmitiendo el movimiento del elemento conductor al conducido.

Como puede observarse en la figura 2.23, la campana del embrague presenta un engranaje que recibe el movimiento del motor. Concéntrica a ella está la maza del embrague, que tiene un cubo estriado donde engrana el eje de entrada al cambio. Entre ellas están las parejas de discos de fricción y presión.

Los muelles del mecanismo de presión empujan el plato de presión, el cual aprieta los discos de presión contra los discos de fricción. En consecuencia el movimiento se transmite de la campana a la maza y, por tanto, al eje primario del cambio.

En los embragues multidisco utilizados en las cajas de cambios de doble embrague o en las cajas de cambios automáticas, el eje portadiscos exterior y el portadiscos interior giran solidarios cuando se aplica presión hidráulica a un émbolo, el cual empuja los discos de presión contra los de fricción haciéndolos solidarios.

2.24. Embrague multidisco.



2.25. Embrague multidisco de una transmisión automatizada.

4.3 > Embrague autoajustable

Los embragues autoajustables son una evolución de los embragues de diafragma que aparece debido al aumento del par motor y la potencia a transmitir en los motores actuales.

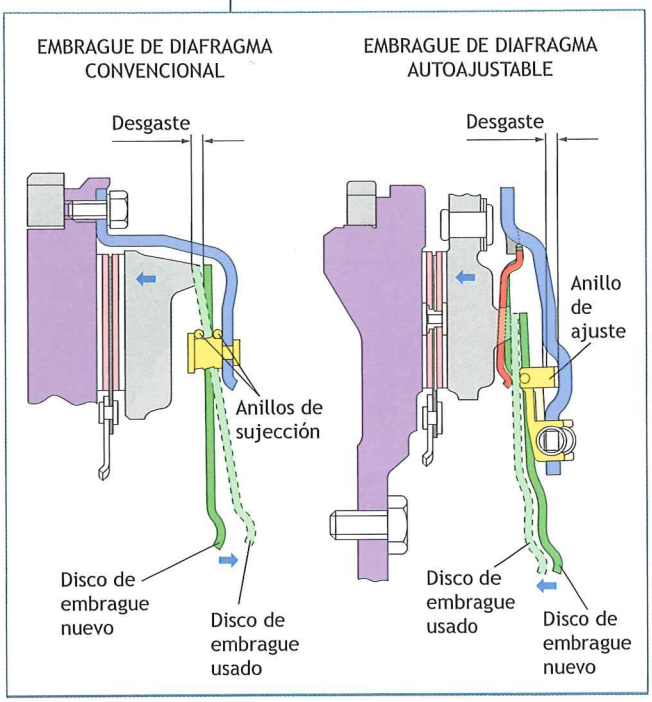
Para que los discos de embrague puedan transmitir este par sin extender mucho su superficie, se aumenta la fuerza de empuje generada por el diafragma y, en consecuencia, aumenta también la fuerza de desembrague.

En el embrague de diafragma, cuando el disco de embrague se va desgastando, el diafragma cambia su conicidad, pasando a tener una más pronunciada. Con este cambio, varían la fuerza de empuje que realiza el plato de presión y la fuerza necesaria para realizar el desembrague; ambas aumentan, con un desgaste del disco de embrague de 1 a 1,5 mm, para después ir disminuyendo.

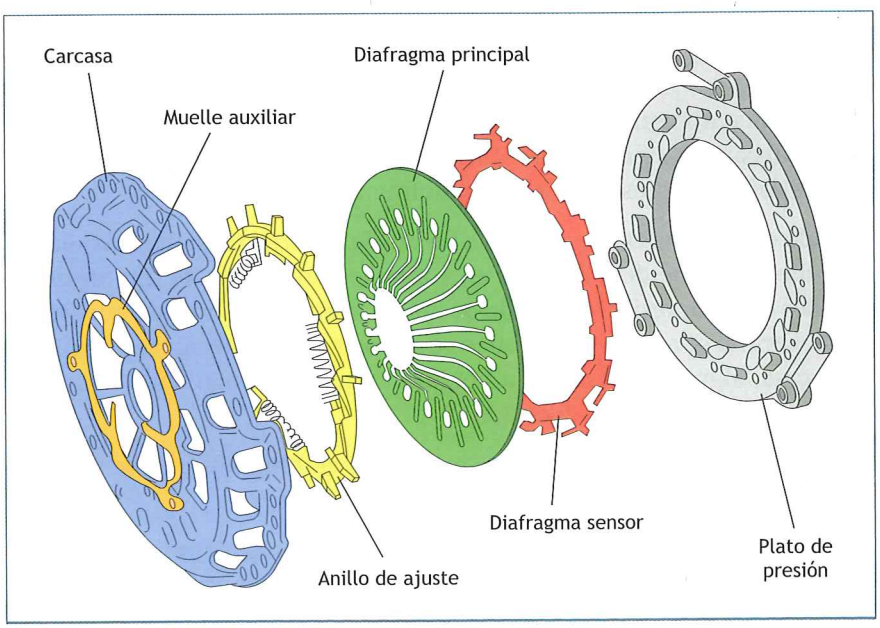
Con los embragues autoajustables se consigue que la fuerza de desembrague permanezca constante a medida que aumenta el desgaste del disco.

Los embragues autoajustables están formados por los siguientes elementos (figura 2.27):

- Carcasa con tope de desembrague y alojamientos para las cuñas y los muelles del anillo de ajuste.
- Anillo de ajuste con cuñas y muelles de compresión.
- Diafragma principal.
- Diafragma sensor.
- Plato de presión.



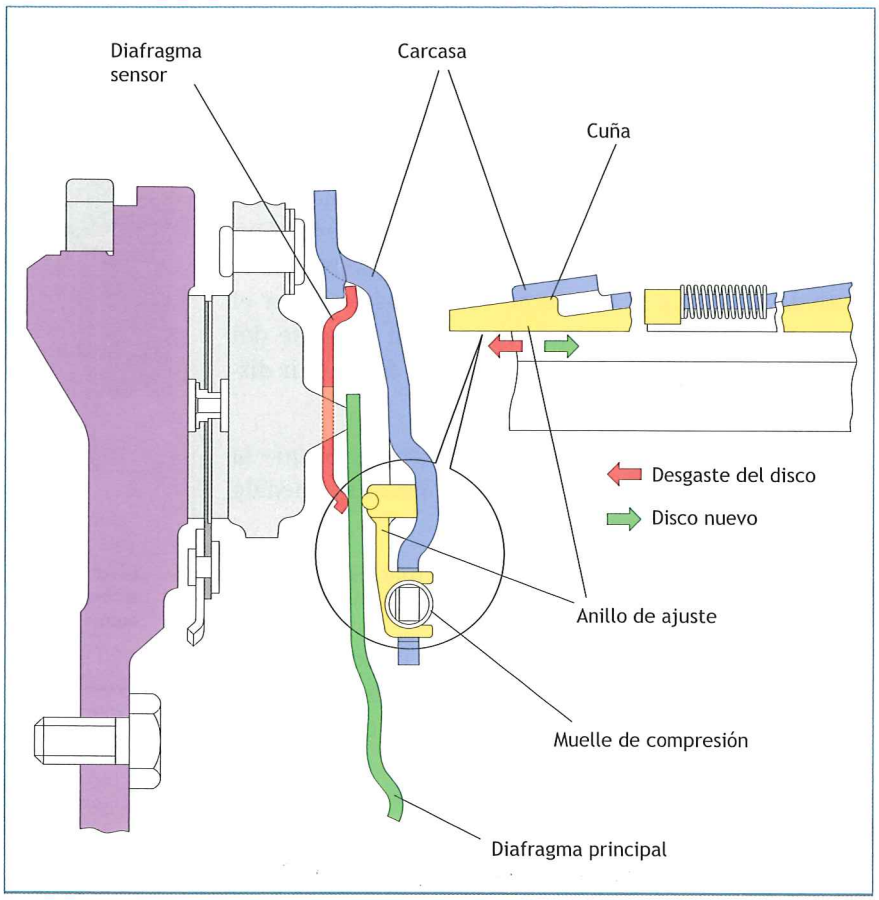
2.26. Explicación de la necesidad del embrague autoajustable.



2.27. Componentes del embrague autoajustable.

Principio de funcionamiento de los embragues autoajustables

El diafragma sensor soporta el diafragma principal, ejerciendo una fuerza tal que el anillo de ajuste está comprimido entre el diafragma principal y la carcasa. Esto se produce con esfuerzos de desembrague normales.



2.28. Principio de funcionamiento de un embrague autoajustable.

El disco de embrague se va desgastando y, en consecuencia, el diafragma principal cambia su conicidad y aumenta la fuerza de empuje que realiza sobre el plato de presión y sobre el diafragma sensor.

Cuando esta fuerza es mayor que la fuerza de soporte del diafragma sensor, el anillo de ajuste deja de estar en contacto con la carcasa. Entonces los muelles de compresión del anillo de ajuste lo hacen girar hasta que las cuñas del anillo se acuñan en el hueco dejado entre el diafragma principal y la carcasa, logrando eliminar la holgura creada y consiguiendo mantener la inclinación inicial del diafragma.

Para cambiar el disco de embrague de estos embragues se debe situar el anillo de ajuste en su posición inicial en la carcasa.

Para el correcto montaje de los embragues autoajustables se necesita una herramienta especial con la que se precarga dicho embrague para que el anillo de ajuste no gire en el plato de presión. De este modo se evitan posibles daños o fallos en el conjunto.

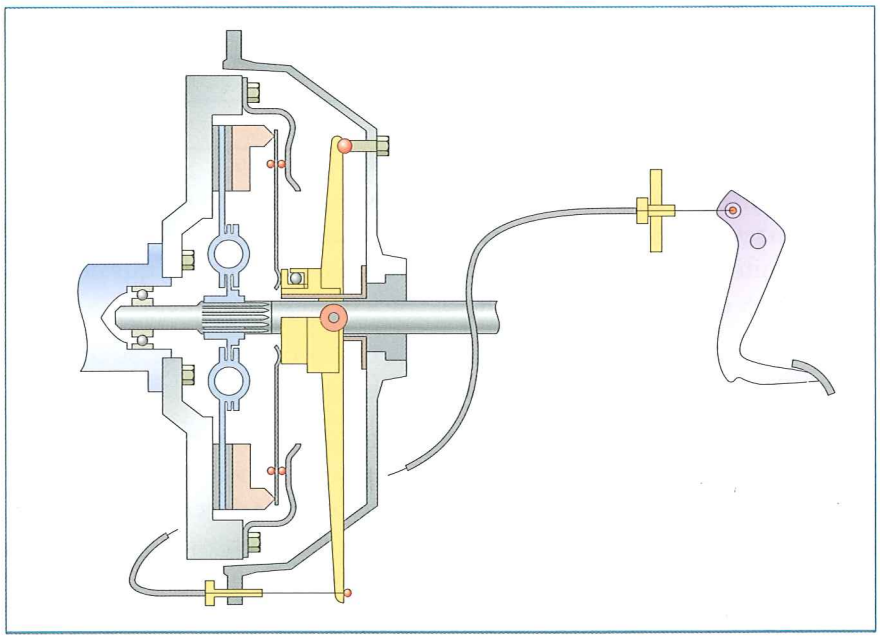
5 >> Sistemas de accionamiento del embrague de fricción

Los sistemas de accionamiento de los embragues de fricción comprenden todos los elementos que se encargan de transmitir y ampliar la fuerza producida por el conductor cuando pisa el pedal del embrague. Esta fuerza pasa al cojinete de desembrague y este desplaza el diafragma.

Los embragues de fricción pueden tener accionamientos de tipo mecánico, hidráulico, hidroneumático o automático.

5.1 > Accionamiento mecánico

En los sistemas de accionamiento mecánico la fuerza generada se transmite al cojinete de desembrague mediante barras o cables. Este último método es el más habitual actualmente.

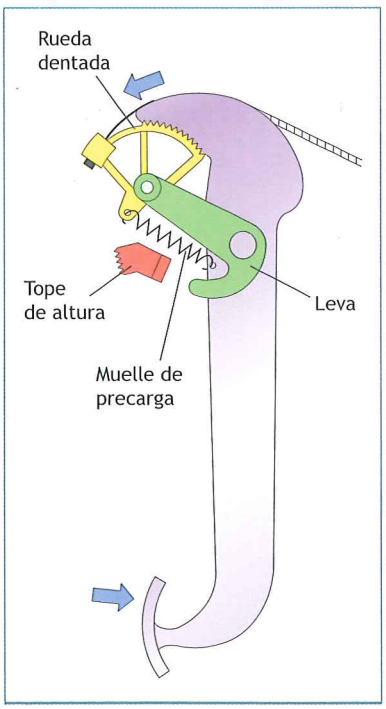


2.29. Sistema de accionamiento manual por cable.

Para reducir la fuerza que debe ejercer el conductor en el desembrague, se colocan en el mecanismo brazos de palanca que multiplican dicha fuerza.

Al desgastarse el disco de embrague, las puntas del diafragma cambian su conicidad y se desplazan en el sentido de aproximación del cojinete de desembrague, reduciendo la carrera en vacío del pedal del embrague. Si el desgaste producido es grande, se puede producir un deslizamiento del disco de embrague.

Para evitar este problema se debe ajustar la longitud del cable de accionamiento. Existen distintos métodos de ajuste automático que se encargan de ir reduciendo la longitud del cable a medida que se va desgastando el disco de embrague. Los elementos que lo hacen posible pueden ir colocados en el pedal del embrague o en la funda del cable de accionamiento.

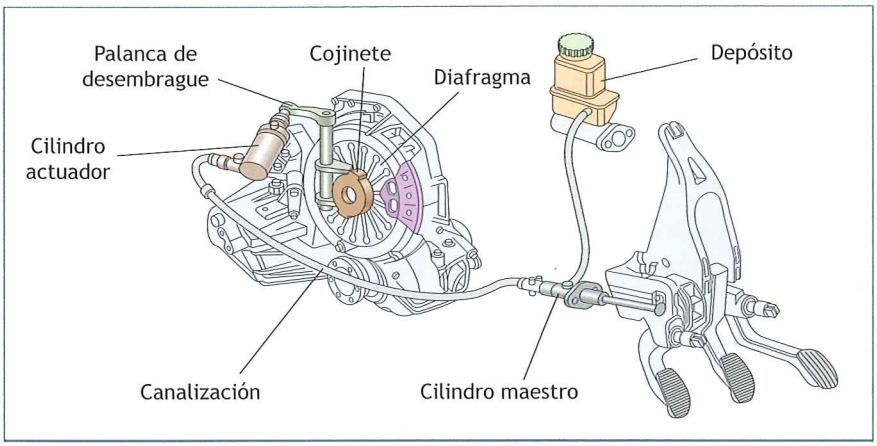


2.30. Ajuste automático en el pedal del embrague.

5.2 > Accionamiento hidráulico

En los sistemas de accionamiento hidráulico la fuerza de accionamiento del cojinete de desembrague se produce mediante presión hidráulica.

El sistema de accionamiento hidráulico está formado por los elementos que aparecen en la siguiente figura:

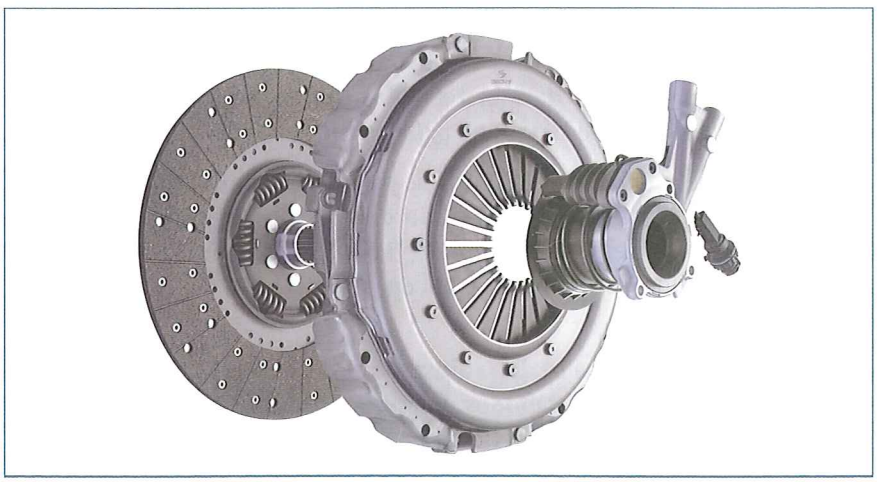


2.31. Sistema de accionamiento hidráulico.

Al accionarse el pedal del embrague, se desplaza un émbolo dentro del cilindro maestro o bomba, generándose presión en el líquido. Esta presión se transmite por las canalizaciones hacia el cilindro actuador, que desplaza a su vez un émbolo que acciona la palanca de desembrague.

Jugando con las secciones de los cilindros maestro y actuador, se consigue multiplicar la fuerza de accionamiento ejercida en el pedal.

Una variante de este sistema de accionamiento es el sistema CSC *(concentric slave cylinder)*, en el cual el cilindro actuador y el cojinete de desembrague forman un único conjunto. Este montaje concéntrico del cilindro actuador al eje del primario posibilita una acción de desembragado más directa, puesto que elimina palancas de accionamiento.



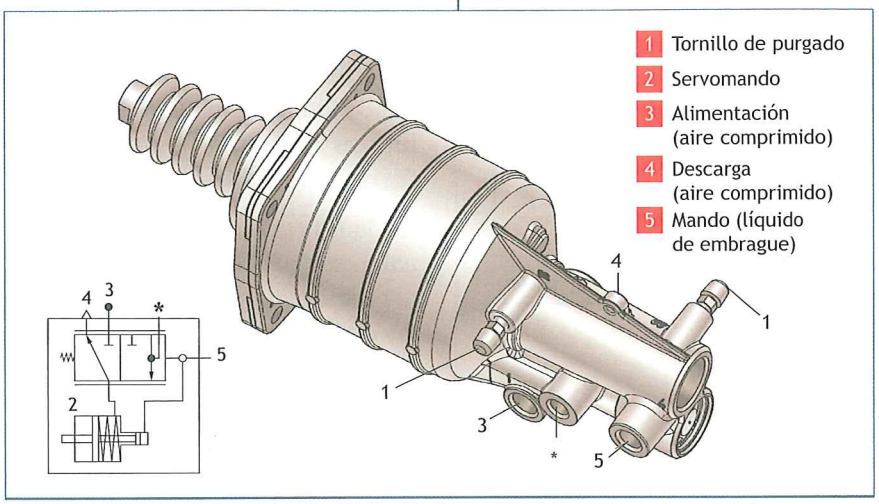
2.32. Sistema de accionamiento hidráulico CSC.

5.3 > Accionamiento hidroneumático

Este tipo de accionamiento se utiliza principalmente en los vehículos industriales.

El sistema de accionamiento hidroneumático tiene una parte hidráulica y otra neumática y está formado por una bomba hidráulica, una válvula neumática de mando y un cilindro en tándem de simple efecto.

El cilindro está dividido en dos cámaras: una recibe aire a presión y la otra aceite a presión. Al pisar el pedal, la bomba presuriza el aceite y este llega a la cámara posterior del cilindro, desplazando el vástago. Al mismo tiempo este aceite acciona la válvula neumática de mando, la cual permite que el aire a presión entre en la otra cámara del cilindro y empuje el vástago. Al salir el vástago del cilindro desplaza la palanca de desembrague, produciéndose así el desembragado.



2.33. Servomando hidroneumático de accionamiento.

5.4 > Accionamiento automático

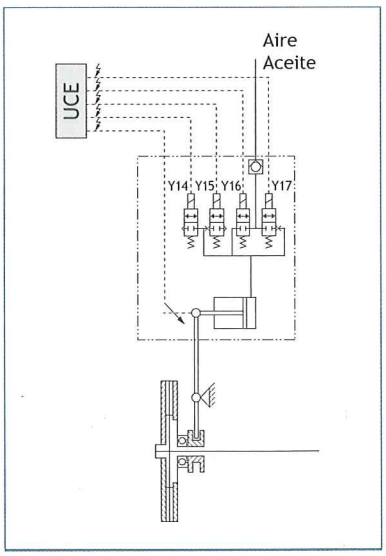
Actualmente se están imponiendo en los vehículos las cajas de cambios manuales de accionamiento automático, cuyo embrague no es accionado por el conductor sino automáticamente por medio de cilindros hidráulicos o neumáticos de simple efecto y motores eléctricos.

Accionamiento mediante cilindros

El accionamiento mediante cilindros consiste en alimentar con aceite o aire el cilindro actuador del embrague para que el vástago salga y desplace la palanca de desembrague.

Para controlar este proceso existe una unidad de control electrónico, la UCE, que se encarga de activar unas determinadas electroválvulas que permiten la entrada o salida de los fluidos en la cámara de trabajo del cilindro actuador.

Un sensor de recorrido informa a la UCE del desplazamiento del vástago para que las electroválvulas abran o cierren la cámara.

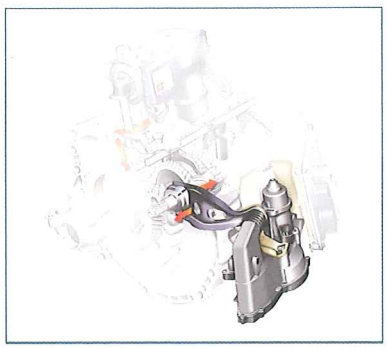


2.34. Accionamiento automático mediante cilindros.

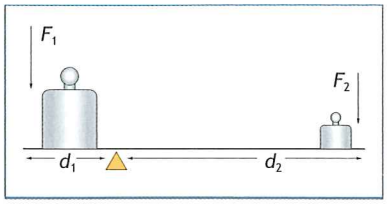
Accionamiento mediante motor eléctrico

En el accionamiento mediante motor eléctrico la UCE alimenta eléctricamente un motor eléctrico de corriente continua que, al girar por medio de mecanismos de reducción de giro y multiplicación de esfuerzos, acciona la palanca de desembrague. El motor puede girar en los dos sentidos para realizar el embragado y el desembragado.

Como en el caso anterior, sensores de recorrido informan a la UCE de la posición del actuador.



2.35. Accionador automático mediante motor eléctrico.



2.36. Ley de la palanca.

5.5 > Fuerzas que actúan en los sistemas de accionamiento

Accionamiento mecánico

En este tipo de accionamiento la multiplicación de fuerzas se consigue aplicando la ley de la palanca. Esta consiste en variar las distancias de las fuerzas respecto al punto de giro o apoyo para conseguir multiplicar la fuerza generada.

Así la fuerza aplicada en el pedal (F_p) se multiplica en sucesivos brazos de palanca (F_{ac}) hasta llegar al cojinete de desembrague, que tira de las puntas del diafragma con esa fuerza (F_{co}). Para calcular estas fuerzas se aplica la ley de la palanca (figura 2.36):

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$$

Accionamiento hidráulico

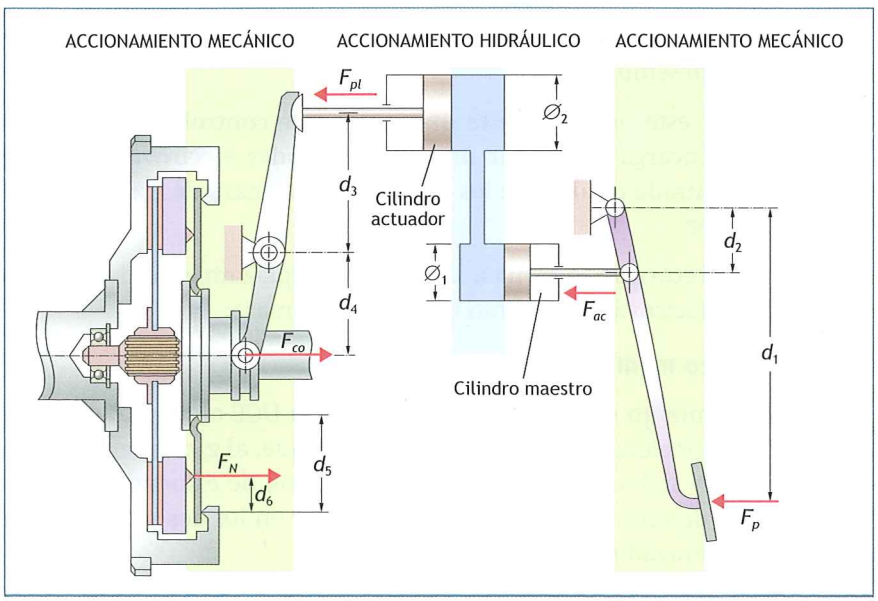
En este tipo de accionamiento la multiplicación de fuerzas se consigue mediante la presión hidráulica. Aquí, variando la sección del cilindro maestro (S_{cm}) y del cilindro actuador (S_{ca}) se consigue multiplicar la presión:

$$S_{cm} = \frac{\pi \cdot \varnothing_1^2}{4} \qquad S_{ca} = \frac{\pi \cdot \varnothing_2^2}{4}$$

F_{ac} es la fuerza con la que el émbolo del cilindro maestro comprimiría el aceite, generando una determinada presión:

$$p = \frac{F}{S} \qquad p = \frac{F_{ac}}{S_{cm}} = \frac{F_{pl}}{S_{ca}} \qquad F_{pl} = F_{ac} \cdot \frac{S_{ca}}{S_{cm}}$$

Esta presión se transmite por toda la canalización hasta llegar al cilindro actuador, donde provoca la salida del vástago, que empuja la palanca de desembrague con una determinada fuerza (F_{pl}). En consecuencia la palanca de desembrague pivota en el punto de apoyo y tira del cojinete de desembrague, que ejerce una fuerza de tiro (F_{co}).



2.37. Cálculo de las fuerzas de accionamiento del embrague.

Casos prácticos

Cálculo de la fuerza obtenida en el cojinete de desembrague en un accionamiento por cable

•• Calcula la fuerza que se obtiene en el cojinete de desembrague cuando se pisa el pedal del embrague con una fuerza (F_p) de 90 N, sabiendo que las dimensiones del sistema de accionamiento son las siguientes:

- La distancia del pedal al punto de giro es de 150 mm (d_1).
- La distancia del punto de unión cable-pedal al punto de giro es de 50 mm (d_2).
- La distancia del punto de unión cable-palanca a su punto de giro es de 45 mm (d_3).
- La distancia del punto de unión cojinete-palanca a su punto de giro es de 15 mm (d_4).

Solución •• Por la ley de la palanca, obtenemos la fuerza con que se acciona la palanca de desembrague F_{ac}:

$$F_p \cdot d_1 = F_{ac} \cdot d_2 \Rightarrow F_{ac} = F_p \cdot \frac{d_1}{d_2} = 90\ \text{N} \cdot \frac{150\ \text{mm}}{50\ \text{mm}} = 270\ \text{N}$$

Una vez hallada esta fuerza, obtendremos la fuerza que empuja al cojinete (F_{co}), teniendo en cuenta que en este sistema la fuerza de accionamiento (F_{ca}) es igual a la fuerza aplicada en la palanca (F_{pl}), ya que no hay accionamientos hidráulicos:

$$F_{pl} \cdot d_3 = F_{co} \cdot d_4 \Rightarrow F_{co} = F_{pl} \cdot \frac{d_3}{d_4} = 270\ \text{N} \cdot \frac{45\ \text{mm}}{15\ \text{mm}} = 810\ \text{N empujan el cojinete}$$

Casos prácticos

Cálculo de la fuerza obtenida en un accionamiento hidráulico

•• Si en el sistema de accionamiento del caso práctico anterior se coloca un cilindro maestro de 12 mm de diámetro ($\varnothing_1$) y un cilindro actuador de 32 mm de diámetro ($\varnothing_2$), calcula la fuerza obtenida en el cojinete de desembrague si pisamos el pedal con la misma fuerza.

Solución •• Primero calculamos la superficie del cilindro maestro (S_{cm}) y del cilindro actuador (S_{ca}):

$$S_{cm} \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing_1^2}{4} = 3{,}14 \cdot \frac{(12\ \text{mm})^2}{4} = 113{,}04\ \text{mm}^2$$

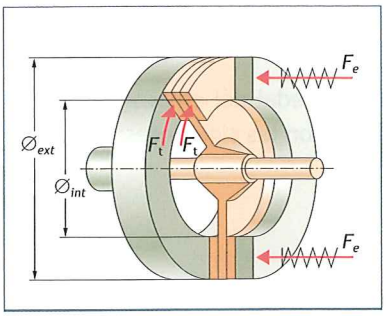
$$S_{ca} \cdot \frac{\pi \cdot \varnothing_2^2}{4} = 3{,}14 \cdot \frac{(32\ \text{mm})^2}{4} = 803{,}84\ \text{mm}^2$$

Y ahora calculamos la fuerza con la que se empuja la palanca del cojinete de desembrague (F_{pl}):

$$F_{pl} = F_{ac} \cdot \frac{S_{ca}}{S_{cm}} = 270\ \text{N} \cdot \frac{803{,}84\ \text{mm}^2}{113{,}04\ \text{mm}^2} = 1\,917\ \text{N}$$

Por lo tanto, la fuerza obtenida ahora en el cojinete de desembrague (F_{co}) será:

$$F_{pl} \cdot d_3 = F_{co} \cdot d_4 \Rightarrow F_{co} = F_{pl} \cdot \frac{d_3}{d_4} = 1\,917\ \text{N} \cdot \frac{45\ \text{mm}}{15\ \text{mm}} = 5\,751\ \text{N empujan el cojinete}$$



2.38. Fuerza de fricción tangencial.

6 >> Par de giro transmitido por el embrague

El par de giro que transmite el embrague depende de la fuerza generada por la fricción entre el volante de inercia y los forros de fricción del disco de embrague (figura 2.38).

La fuerza de fricción tangencial (F_t) generada en el disco de embrague viene determinada por la siguiente fórmula matemática:

$$F_t = F_e \cdot n \cdot \mu$$

- F_e es **la fuerza de empuje** generada por el mecanismo de presión sobre los ferodos del disco de embrague. Se calcula con la siguiente fórmula, que depende de la superficie de fricción (S_f) y de la presión (p):

$$F_e = S_f \cdot p \qquad S_f = \frac{\pi \cdot (\varnothing_{ext}^2 - \varnothing_{int}^2)}{4}$$

- n es el **número de caras** de fricción del disco (si tenemos un embrague monodisco serán dos).
- μ es el **coeficiente de fricción.** Depende del tipo de material que forme los ferodos y de si son discos en seco o bañados en aceite. El coeficiente de fricción es de 0,25 a 0,50 en materiales orgánicos y de 0,30 a 0,60 en cerametálicos.

La fuerza tangencial generada se aplicará a cierta distancia del centro del disco, donde se inserta el eje de entrada al cambio. Multiplicando la fuerza por esta distancia se obtiene el par máximo ($C_{máx}$) que puede transmitir el disco de embrague. Para calcularlo, se considera que esta distancia es el radio medio del área circular (R_m) que ocupan los forros de fricción:

$$C_{máx} = F_t \cdot R_m \qquad R_m = \frac{\varnothing_{ext} + \varnothing_{int}}{4}$$

Al par máximo se le aplica un coeficiente de seguridad, que depende del vehículo en el que va montado el embrague.

Presión máxima de los ferodos

Los ferodos del disco de embrague pueden aguantar una presión determinada. Por ejemplo, los ferodos de material orgánico pueden aguantar una presión de 35 N/cm^2.

Casos prácticos

Cálculo del par de giro transmitido por un embrague

•• Calcula el par transmitido por un disco de embrague con los siguientes datos:

- El diámetro interior del disco ($\varnothing_{int}$) es de 150 mm.
- El diámetro exterior del disco ($\varnothing_{ext}$) es de 225 mm.
- La fuerza de empuje (F_e) del elemento elástico es de 539,4 daN.
- El coeficiente de rozamiento (μ) de la superficie del disco con el acero es de 0,25.

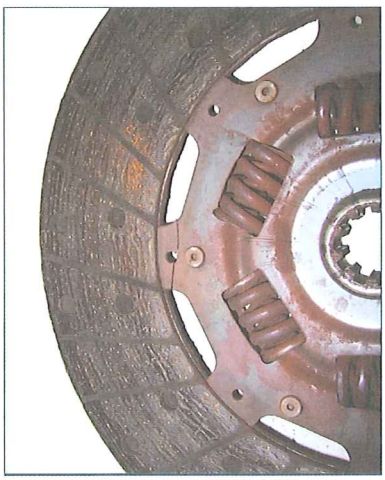
Solución •• Calculamos el par máximo transmitido utilizando la fórmula:

$$C_{máx} = F_t \cdot R_m = F_e \cdot n \cdot \mu \cdot \frac{\varnothing_{ext} + \varnothing_{int}}{4} = 539{,}4 \text{ daN} \cdot 2 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{225 \text{ mm} + 150 \text{ mm}}{4} = 50\,568{,}75 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

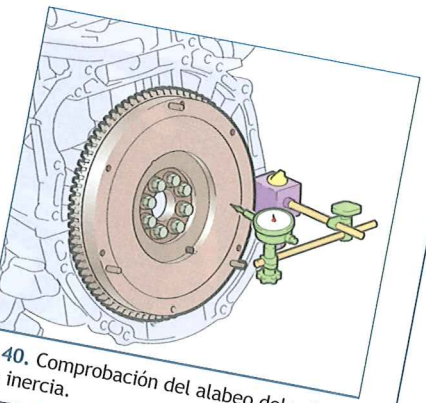
7 >> Averías en el mecanismo del embrague de fricción

Las anomalías más frecuentes que se ocasionan en este mecanismo se pueden clasificar en varios grupos:

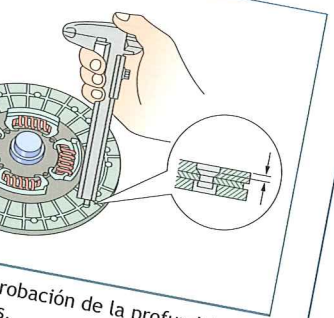
- El **embrague no se desacopla**, es decir, el disco de embrague no se desconecta del volante de inercia en el desembragado. Esto puede ser debido a:
  - Mala regulación del sistema de accionamiento.
  - Rotura del disco de embrague con forros rotos y cubo estriado dañado.
  - Rotura o gran desgaste de las puntas del diafragma.
  - Deformación de la carcasa o los tirantes de unión al plato de presión.
  - Deformación del cojinete de desembrague.
  - Plato de presión roto por sobrecalentamiento de su superficie de fricción debido a que el conductor ha dejado que el embrague patine durante bastante tiempo.
  - Cubo estriado del disco de embrague dañado por mal montaje.
  - Cubo estriado del disco de embrague oxidado debido a las condiciones ambientales y de uso.
- El **embrague patina**, es decir, el motor sube de revoluciones al acelerar sin que el vehículo aumente la velocidad. Esto puede ser debido a:
  - Engrase del disco de embrague por pérdida o cambio de aceite del motor.
  - Desgaste o quemadura de los forros.
  - Agarrotamiento del sistema de accionamiento en posición de desembragado parcial.
- El **embrague hace ruidos.** En distintos momentos y por diversos motivos pueden producirse ruidos como los siguientes:
  - Ruidos al accionar el pedal del embrague debido a que algún elemento del sistema de accionamiento está defectuoso.
  - Silbidos debidos al rodamiento del cojinete de desembrague.
  - Ruidos cíclicos que se producen en ciertos regímenes del motor debido a muelles de torsión rotos o defectuosos.
  - Ruido al desembragar debido a que el rodamiento presente en el volante de inercia está gripado.
- El **embrague retiembla.** Estos retemblores se producen porque los elementos del embrague no se asientan correctamente entre sí. Esto puede ser debido a:
  - Deformación del volante motor en la superficie de roce del disco de embrague.
  - Presencia de aceite o grasa en el eje de entrada al cambio o en los forros de fricción.
  - Presencia de grasa contaminada de materiales sólidos en el cubo estriado del disco.
  - Deformación de la lámina tangencial de unión carcasa-plato de presión.
  - Aparecen grietas en la superficie del forro de fricción que se une al volante de inercia debido a que el volante de inercia estaba dañado y no se sustituyó o rectificó.



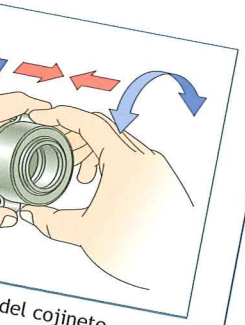
2.39. Forros de fricción desgastados.



40. Comprobación del alabeo del volante inercia.



robación de la profundidad de s.



del cojinete.

8 >> Comprobaciones en los elementos del embrague de fricción

Si se detecta que el sistema de embrague no funciona se deben desmontar los elementos del embrague y comprobar cada uno de ellos para determinar cuál ha causado la avería.

El desmontaje y la comprobación posterior deben realizarse siguiendo las pautas indicadas por el fabricante del vehículo en los manuales de reparación.

8.1 > Comprobaciones en el volante de inercia

Las comprobaciones que hay que realizar en el volante de inercia son:

- Comprobar que la superficie de rozamiento del disco de embrague no presenta rajaduras o grietas pronunciadas.
- Comprobar que el rodamiento gira uniformemente con la mano sin que presente agarrotamientos.
- Comprobar que la corona de arranque no tiene el dentado roto o deformado.
- Comprobar el alabeo del volante de inercia con el reloj comparador (figura 2.40). Este alabeo no debe ser superior a 0,3 mm.

8.2 > Comprobaciones en el disco de embrague

Las comprobaciones que hay que realizar en el disco de embrague son:

- Comprobar que los ferodos no están quemados con manchas de aceite ni de grasa.
- Comprobar que el estriado interno del buje no presenta deformaciones, desgaste excesivo u oxidación.
- Comprobar el espesor del disco y la profundidad de los remaches de unión al disco de arrastre (figura 2.41).
- Verificar que los muelles del amortiguador torsional del disco no están rotos o deformados.
- Comprobar que el alabeo del disco no supera los 0,8 mm.

8.3 > Comprobaciones en el mecanismo de presión y la maza de embrague

Las comprobaciones que hay que realizar en el mecanismo de presión del embrague son las siguientes:

- Comprobar que las puntas del diafragma no están deformadas o muy marcadas.
- Verificar que los tirantes de unión del plato a la carcasa no están rotos o deformados.
- Comprobar que el plato de presión no presenta signos de recalentamiento ni está alabeado.

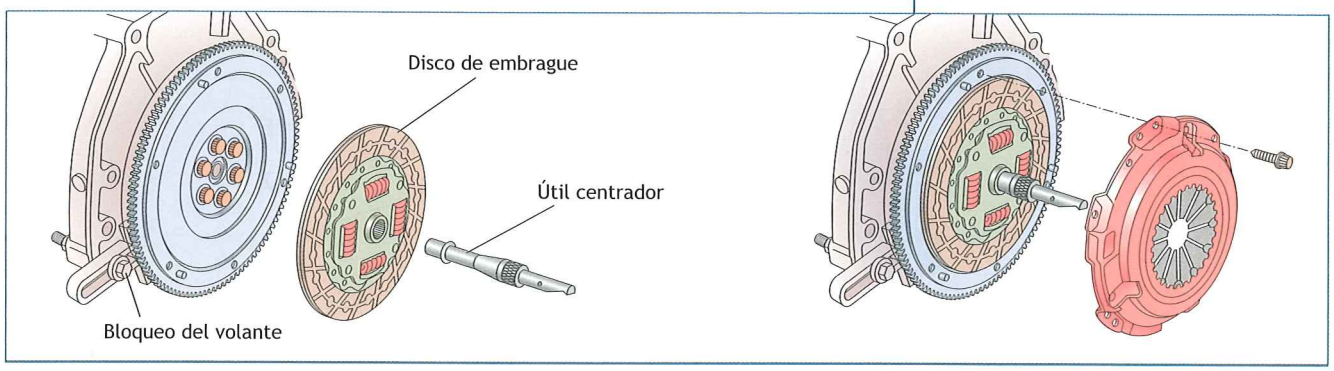
La comprobación básica que se debe realizar en el cojinete d
es que su rodamiento gira uniformemente
(figura 2.42).

9 >> Montaje del disco de embrague

Cuando se sustituye el disco de embrague, también se debe realizar el cambio del conjunto de presión y del cojinete de desembrague. Asimismo, puede ser necesaria la sustitución del rodamiento del volante de inercia.

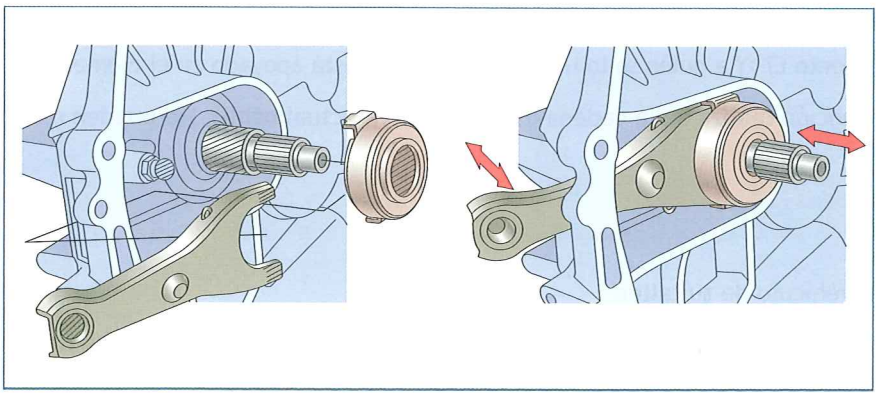
Para realizar correctamente el montaje de un disco de embrague hay que seguir los siguientes pasos:

1. Una vez limpiado el volante de inercia, se bloquea su rotación con un útil apropiado. El disco de embrague presenta una posición de montaje que viene marcada en una de sus caras.
2. Se coloca el útil centrador del disco de embrague en el buje estriado del disco y en el rodamiento del volante de inercia o cigüeñal para conseguir su perfecto alineamiento.



2.43. Montaje del disco de embrague y el conjunto de presión.

3. Se instala el conjunto de presión, alineándolo mediante sus pasadores correspondientes. Se aprietan los tornillos al par de apriete adecuado en pasadas sucesivas y de forma alterna para evitar el alabeo del diafragma.
4. Se aplica la grasa recomendada por el fabricante en los puntos de apoyo de la palanca de desembrague y en la unión con el cojinete.
5. Se monta el cojinete en la palanca de desembrague y todo ello en su posición en la carcasa del cambio de velocidades, comprobando que el conjunto se desplaza suavemente.

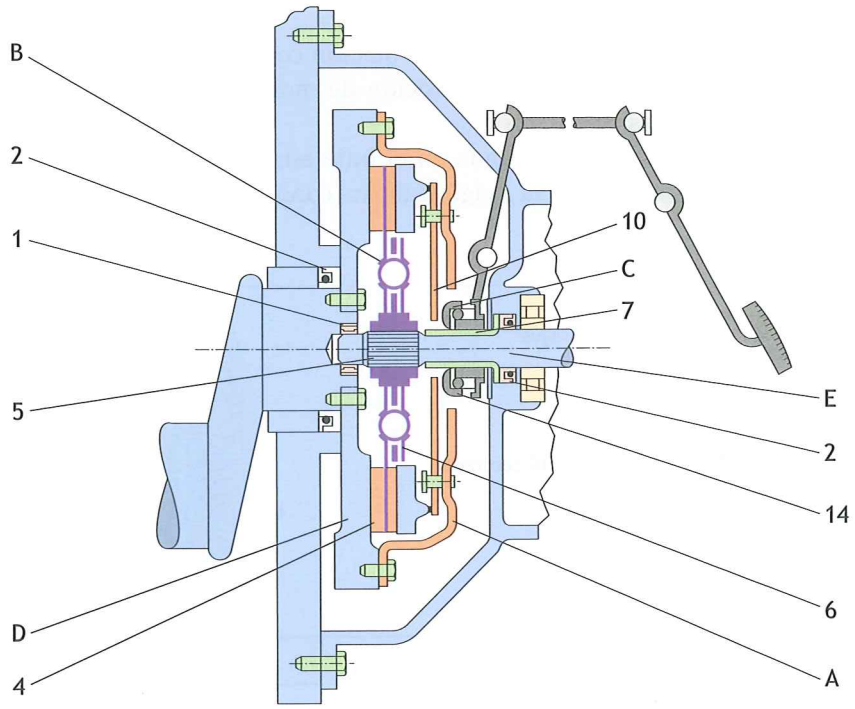


2.44. Montaje de la palanca y el cojinete de desembrague.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

Dada la siguiente figura de un convertidor de par, contesta a las siguientes cuestiones:



1·· Pon el nombre de cada uno de los elementos enumerados en la figura.

2·· Explica la función que realiza el elemento número 10. ¿Qué pasaría si este elemento perdiera elasticidad y no ejerciera la fuerza inicial de montaje?

3·· Explica la función del elemento número 1 de la figura. ¿Siempre está girando?

4·· Este sistema presenta un embrague de diafragma de empuje. Argumenta esta afirmación.

5·· Explica la función que realiza el elemento C en el sistema. ¿Por qué presenta un rodamiento de bolas?

6·· ¿De quién recibe el movimiento el elemento E? ¿Y a quién se lo transmite? ¿Por qué está apoyado en el elemento 1?

7·· ¿Cómo se llama el elemento D? ¿Qué función realiza en la cadena de transmisión? Actualmente, ¿se pueden montar otros tipos distintos de este elemento?

.: APLICACIÓN :.

1·· Identifica el tipo de embrague de un vehículo de tu taller.

2·· Identifica, enumerando sus elementos, el sistema de accionamiento del embrague de un vehículo presente en tu aula taller.

Caso final

Montaje de un embrague autoajustable

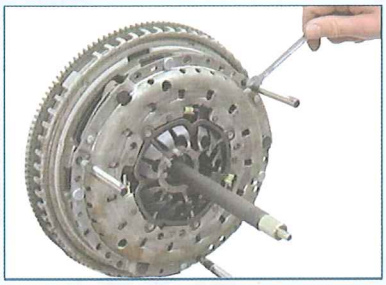
•• Realiza el montaje del conjunto disco de embrague-conjunto de presión se realiza correctamente.

Solución •• Una vez quitado el embrague antiguo, se procede a iniciar las operaciones de montaje del embrague autoajustable, para lo que se debe usar un juego de útiles apropiado que evite dañarlo y que no permita el giro del anillo de ajuste en el plato de presión.

Proceso de montaje del embrague

1. Colocamos la maza y el disco en el volante de inercia. Centramos el disco de embrague con el centrador adecuado (figura 2.45).
2. Fijamos con tres bulones la maza al volante a distancias iguales de 120° (figura 2.46).
3. Colocamos el husillo de presión sobre los bulones y en contacto con el plato compresor del diafragma (figura 2.47).

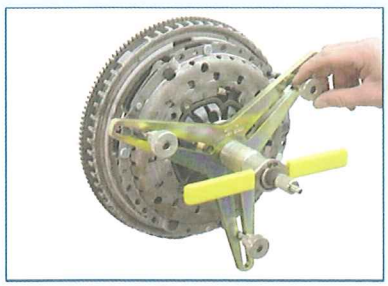
2.45. Colocación de la maza y el disco en el volante de inercia.



2.46. Fijación de los bulones a 120° de distancia.

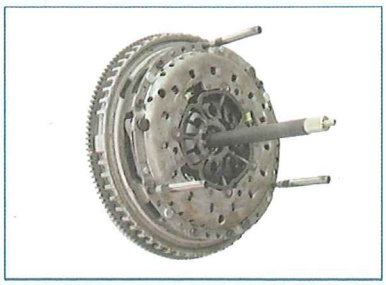
2.47. Colocación del husillo de presión.

4. Colocamos las tuercas grafiladas en los bulones y bloqueamos el husillo de presión (figura 2.48).
5. Giramos el husillo de presión de forma que el diafragma quede sujeto en la posición de actuado. Insertamos varios tornillos en la maza y apretamos al par especificado (figura 2.49).
6. Destensamos el diafragma por medio del husillo de presión, aflojamos las tuercas grafiladas y extraemos el husillo (figura 2.50). Retiramos el centrador, aflojamos y retiramos los bulones y colocamos y apretamos el resto de tornillos de sujección de la maza.



2.48. Colocación de las tuercas en los bulones.

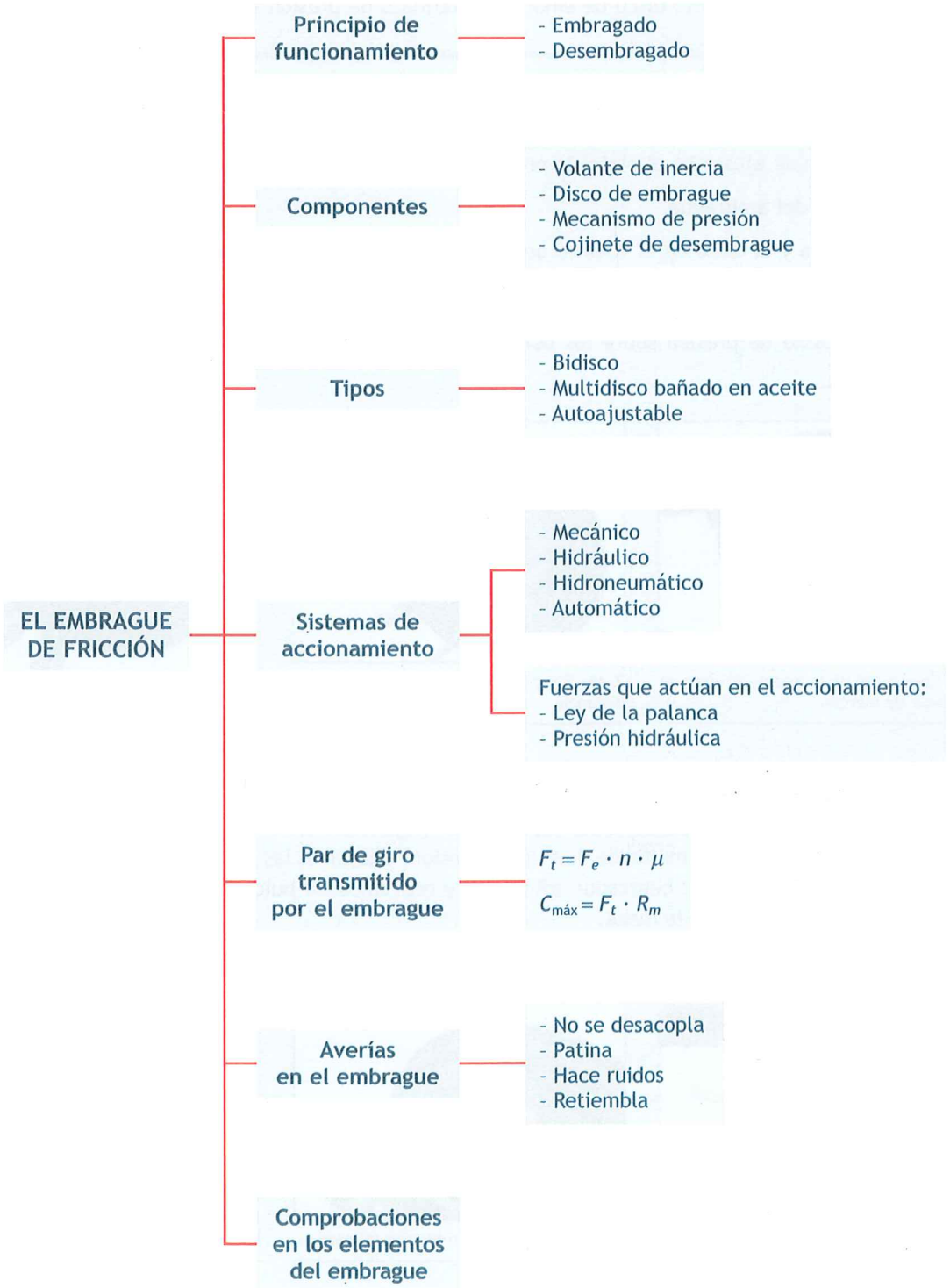
2.49. Inserción de tornillos en la maza.



2.50. Embrague tras la extracción del husillo.

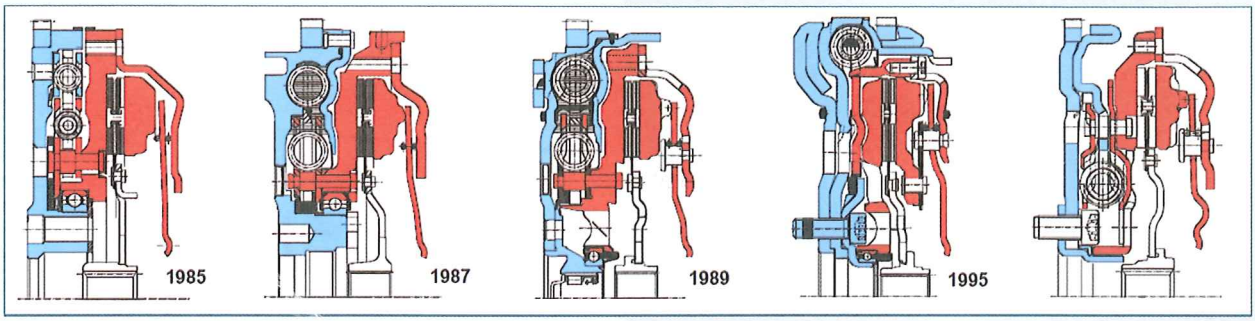
7. Verificamos, al final, la sujección del embrague, comprobando que el par de apriete de todos los tornillos es correcto.

Ideas clave


EL EMBRAGUE DE FRICCIÓN
Principio de funcionamiento
- Embragado
- Desembragado
Componentes
- Volante de inercia
- Disco de embrague
- Mecanismo de presión
- Cojinete de desembrague
Tipos
- Bidisco
- Multidisco bañado en aceite
- Autoajustable
Sistemas de accionamiento
- Mecánico
- Hidráulico
- Hidroneumático
- Automático
Fuerzas que actúan en el accionamiento:
- Ley de la palanca
- Presión hidráulica
Par de giro transmitido por el embrague
$F_t = F_e \cdot n \cdot \mu$
$C_{máx} = F_t \cdot R_m$
Averías en el embrague
- No se desacopla
- Patina
- Hace ruidos
- Retiembla
Comprobaciones en los elementos del embrague

EL VOLANTE DE INERCIA BIMASA

El primer volante de inercia bimasa de la historia del automóvil apareció alrededor del año 1985. Desde entonces este elemento ha sufrido distintas evoluciones.



2.51. Secciones de las distintas evoluciones de los volantes de inercia bimasa en el tiempo.

Los primeros volantes eran de acero fundido o forjado, no estaban lubricados y presentaban muelles de gran tamaño en el exterior, lo que hacía que sufrieran un gran desgaste.

Alrededor de 1987 aparecieron los volantes de inercia bimasa lubricados con grasa. Esto disminuyó su desgaste y, por consiguiente, aumentó su vida útil.

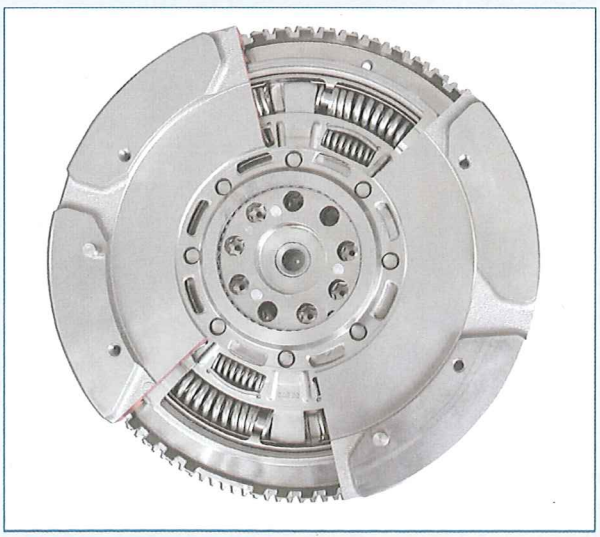
La introducción de muelles de forma circular en los bimasa tuvo lugar aproximadamente en 1989. Se consiguió de este modo resolver en gran medida los problemas de resonancia que se producían en su funcionamiento. Además al mismo tiempo, y de forma continuada, se iba reduciendo el coste de producción de estos volantes.

Posteriormente LuK desarrolló el volante con laminas metálicas, excepto en la masa secundaria, que reducía el coste de fabricación.

En 1998 la producción estimada de volantes de inercia bimasa fue de 2 millones; así, pues, el ruido y confort que aportaban estos elementos se dejaba notar en uno de cada cinco coches dotados de cambio manual que rodaban por Europa. A estas alturas los motores con una cilindrada mayor de dos litros ya solían equiparse con volantes de inercia bimasa. Sin embargo, el uso de estos volantes en motores de medio tamaño empezó más adelante, pues apenas se utilizaban en motores de una cilindrada menor de 1,6 litros.

Dado al aumento de par motor y potencia que suministran los motores pequeños, LuK espera que el volante de inercia bimasa se imponga en pocos años en todos los motores por las ventajas de confort que presenta, aunque su alto coste dificulta su implantación en vehículos pequeños.

Fuente: www.luk.com



2.52. Volante de inercia bimasa seccionado.

unidad 3

Embragues automáticos

SUMARIO

- Embrague hidráulico
- Convertidor de par
- Embrague electromagnético

OBJETIVOS

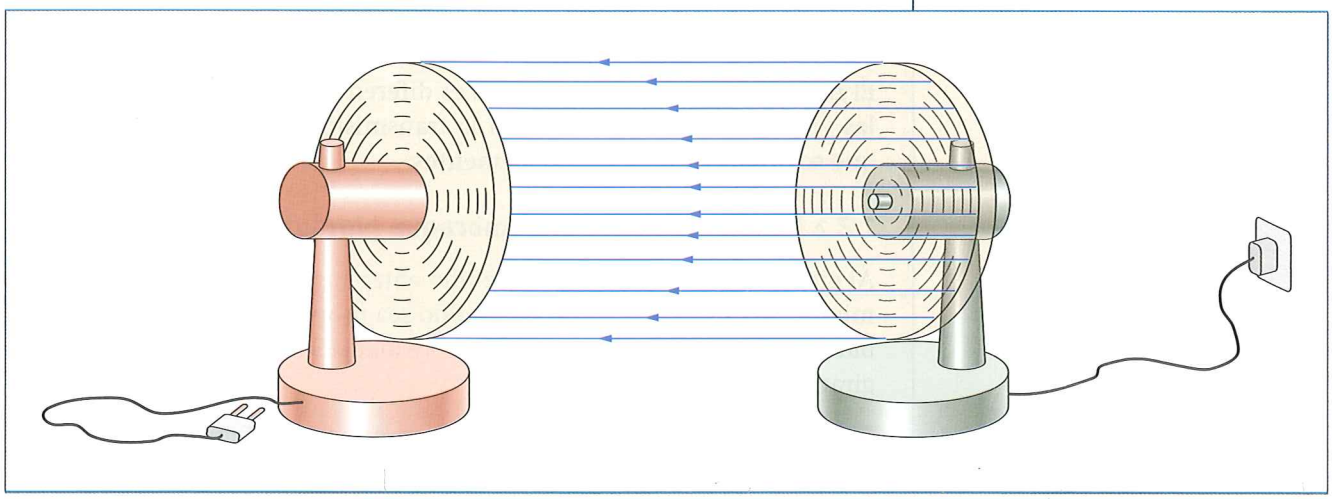
- Conocer el funcionamiento del embrague hidráulico.
- Conocer el funcionamiento del convertidor de par y su campo de aplicación.
- Conocer el funcionamiento del embrague electromagnético.

1 >> Embrague hidráulico

El embrague hidráulico es un elemento transmisor de potencia que funciona según los principios hidrodinámicos.

En la transmisión hidrodinámica un líquido, generalmente aceite, es dotado de una energía cinética por un primer elemento, la bomba, que lo proyecta contra un segundo elemento, la turbina, haciéndolo girar. Esto ocurre dentro de un alojamiento cerrado lleno de aceite, la carcasa, y se repite cíclicamente formando un circuito cerrado, sin desgaste alguno de los elementos.

La transmisión hidrodinámica podría compararse con dos ventiladores colocados enfrentados y a corta distancia. Si uno de ellos es puesto en funcionamiento, el aire que genera al girar provocará el giro del otro ventilador. En los embragues hidráulicos el proceso es el mismo, sustituyendo el aire por un líquido.



3.1. Principio de funcionamiento del embrague hidráulico.

Las principales ventajas que presentan los embragues hidráulicos son las siguientes:

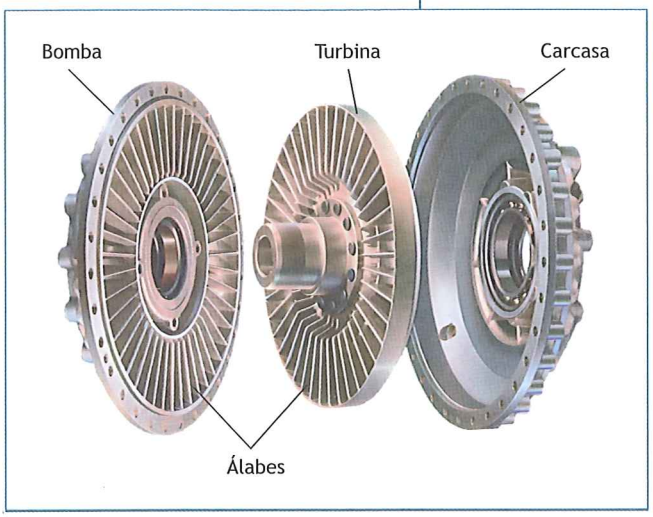
- Poseen un funcionamiento automático; a partir de una determinada velocidad del motor transmiten el movimiento al eje de accionamiento del elemento conducido.
- Al no tener elementos mecánicos en contacto, la duración del embrague y los intervalos de mantenimiento aumentan con respecto a los embragues de fricción.
- Al tratarse de una transmisión mediante líquido, el arranque del motor se puede realizar bajo carga y la aceleración del vehículo se produce suavemente.
- Absorben las vibraciones torsionales producidas en el motor antes de que pasen a los elementos de la transmisión.

Gracias a estas cualidades, los embragues hidráulicos están presentes en una amplia variedad de maquinaria: tractores, barcos, molinos, cintas transportadoras, maquinaria de obras públicas, etc.

El inventor del sistema

Los transmisores hidrodinámicos de potencia, el embrague hidráulico, el convertidor de par y el ralentizador hidráulico se basan en el invento de Hermann Föttinger, ingeniero alemán que fabricó el primer transmisor hidrodinámico en 1905.

1.1 > Componentes del embrague hidráulico



3.2. Componentes del embrague hidráulico.

Las componentes principales del embrague hidráulico son (figura 3.2):

- La **carcasa:** su función es realizar un cierre estanco para poder contener el aceite encargado de transmitir la potencia. Presenta un orificio por donde se repone el aceite.
- La **bomba:** tiene forma semitoroidal y en ella van colocados radialmente unos tabiques planos llamados álabes. Está fijada a la carcasa y es accionada por el motor.
- La **turbina:** tiene la misma forma que la bomba y se encuentra enfrentada a ella y a una pequeña distancia. Unos rodamientos colocados en la carcasa la soportan y permiten el giro entre ambos elementos. Además está engranada con el eje de salida del embrague hidráulico.

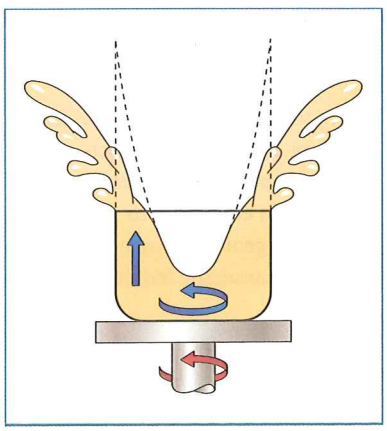
El número de álabes de la turbina es diferente al de la bomba para evitar las vibraciones que aparecen en la transmisión debido al resbalamiento que se produce entre ambos elementos.

1.2 > Funcionamiento del embrague hidráulico

Al girar la bomba, el aceite contenido entre sus álabes es dotado de movimiento, lo que provoca que este fluido sea proyectado por su periferia debido a la fuerza centrífuga e incida sobre los álabes de la turbina haciéndola girar.

Cuando el fluido golpea la turbina, se queda sin fuerza y resbala por dentro de sus álabes hacia su centro, desde donde vuelve otra vez a la bomba. Allí es puesto en movimiento de nuevo, comenzando así la repetición del ciclo.

Cuando la bomba gira a gran velocidad, este movimiento del fluido no se distingue tan claramente, pues se forma el llamado torbellino tórico del fluido.



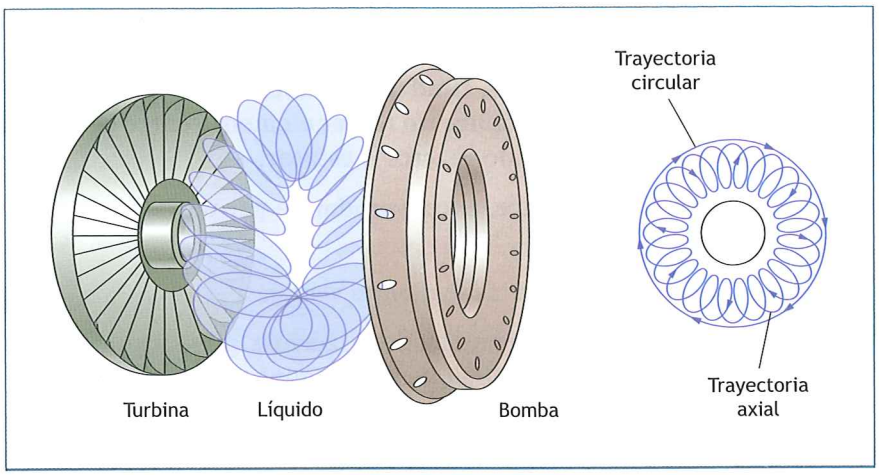
3.3. Movimiento circular y axial de un fluido.

El movimiento del fluido dentro del embrague hidráulico se puede descomponer a su vez en dos movimientos (figura 3.3):

- Un **movimiento circular,** al seguir el aceite el desplazamiento circular de la bomba por estar situado entre sus álabes.
- Un **movimiento axial,** debido a que la fuerza centrífuga expulsa el aceite contenido en la bomba hacia la periferia.

La combinación de estos dos movimientos da lugar a un desplazamiento continuo del fluido que tiene forma de espiral giratoria.

Al girar la bomba, el aceite que expulsa cruza el espacio existente entre ella y la turbina con una trayectoria circular y axial. Estas dos componentes de la velocidad del fluido dan como resultado una masa de líquido que dispone de una energía cinética en una dirección determinada (figura 3.4).



3.4. Movimiento del fluido dentro del embrague hidráulico.

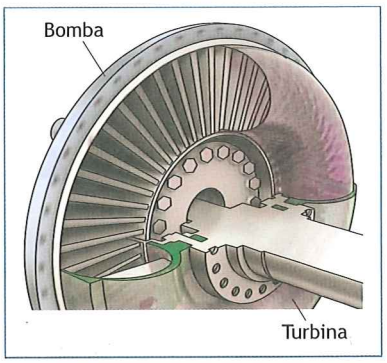
Dependiendo de esta trayectoria, el aceite, al incidir en la turbina, conseguirá hacerla girar más o menos, lo que diferencia las dos fases de funcionamiento del embrague hidráulico: la fase de arranque o resbalamiento y la fase de acoplamiento.

Fase de arranque o resbalamiento

Cuando la bomba empieza a girar, la turbina esta inmóvil. Como la energía que presenta el aceite en movimiento es todavía baja y la componente que predomina en su trayectoria es la axial, el impacto sobre los álabes de la turbina no es eficiente, aunque posibilita que la turbina empiece a girar lentamente.

Este hecho provoca un resbalamiento entre la bomba y la turbina, que irá disminuyendo a medida que se vayan igualando las velocidades de estos elementos. Este porcentaje de resbalamiento *(S)* se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = \left(1 - \frac{\omega_t}{\omega_b}\right) \cdot 100\% \text{ donde } \begin{cases} \omega_t \text{ es la velocidad de la turbina en rpm} \\ \omega_b \text{ es la velocidad de la bomba en rpm} \end{cases}$$



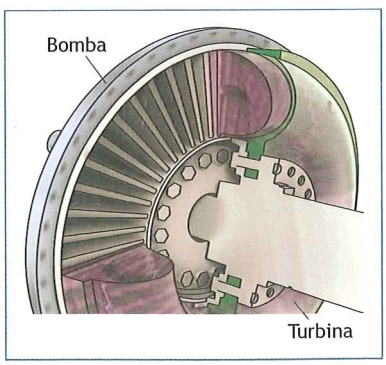
3.5. Fase de resbalamiento del embrague hidráulico.

Fase de acoplamiento

Al ir aumentando la velocidad de la turbina, igualándose a la de la bomba, va disminuyendo la componente axial de la trayectoria descrita por el aceite. Esto es debido a que la turbina ejerce una acción de contrabombeo impidiendo que este fluido pase enteramente al interior de sus álabes.

Cuando se produce el punto de embragado entre la bomba y la turbina, la componente axial es mínima y la componente giratoria del líquido es máxima. En este punto, el empuje producido por el impacto del aceite sobre los álabes de la turbina es el más eficaz, alcanzándose la mayor cantidad de par que puede transmitir el embrague hidráulico.

En el punto de embragado, la transmisión de movimiento la realiza la resistencia al cizallado o corte de la masa de líquido contenida entre la bomba y la turbina.



3.6. Fases de acoplamiento del embrague hidráulico.

2 >> Convertidor de par

El convertidor de par es, fundamentalmente, un embrague hidráulico donde se introduce un tercer elemento entre la bomba y la turbina denominado reactor o estator.

Con la introducción del reactor, el convertidor de par puede multiplicar el par generado por el motor.

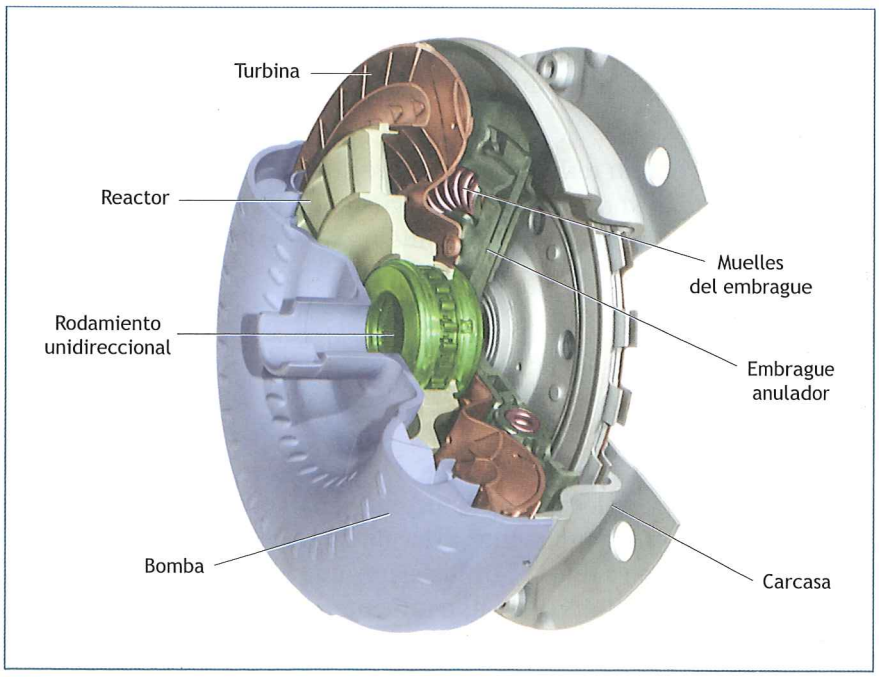
El convertidor de par presenta las siguientes ventajas:

- Funciona como un embrague automático y, además, presenta una fase de funcionamiento en la que multiplica el par suministrado por el motor.
- Igual que el embrague hidráulico, el fluido se encarga de absorber las vibraciones torsionales producidas por el motor de combustión y, así, suaviza la aceleración del elemento acoplado a la transmisión.

Actualmente, muchas de las transmisiones automáticas utilizadas en los vehículos llevan incorporado un convertidor de par como elemento transmisor desde el motor.

2.1 > Componentes del convertidor de par

El convertidor de par está formado por una turbina, una bomba, un reactor y un embrague anulador (figura 3.7).



3.7. Componentes de un convertidor de par.

Turbina

La turbina recibe el impulso del aceite, transfiriendo el par motor al eje de la transmisión que está conectado a su centro mediante un buje estriado. También posee un anillo guía que une todos sus álabes, los cuales presentan una curvatura opuesta a los de la bomba.

Bomba

Al igual que en el embrague hidráulico, la bomba es solidaria a la carcasa y su función es impulsar el aceite hacia la turbina. En este caso presenta álabes curvados unidos por un anillo en su extremo exterior, formando dos coronas circulares. Con esta construcción se consigue suavizar el movimiento del fluido entre la bomba y la turbina, dado que se eliminan turbulencias que aparecían en el centro del convertidor.

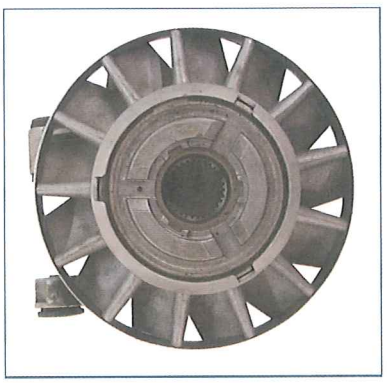
Los álabes de la bomba y de la turbina tienen una curvatura opuesta para conseguir que, en el caso de la bomba, el fluido sea lanzado con más energía y, en el caso de la turbina, que dicho fluido proporcione mayor movimiento.

Con la curvatura de los álabes también se consigue que la fuerza que ejerce el fluido sobre las paletas sea mayor y presente menos pérdidas producidas por el choque.

Reactor

El reactor o estartor (figura 3.8) va colocado entre la bomba y la turbina del convertidor de par, situado sobre un rodamiento unidireccional (figura 3.9). Este rodamiento va montado en un eje inmóvil de la caja de cambios y es el encargado de permitir el giro del reactor en un sentido y bloquearlo en el sentido opuesto.

La función del reactor es orientar el fluido que sale del centro de la turbina de modo que incida sobre los álabes de la bomba convenientemente, de forma que ayuda a girar a la bomba y, por lo tanto, conseguir aumentar el par motor.



3.8. Reactor de un convertidor de par.

Embrague anulador del convertidor

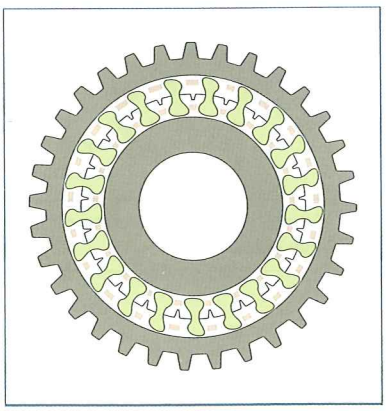
El embrague anulador del convertidor es una especie de disco que va montado de forma solidaria a la turbina. Tiene una zona dotada de ferodos de fricción y puede llevar incorporados muelles que se encargan de absorber las vibraciones torsionales producidas por el motor.

Este embrague puede estar formado por uno o varios discos y la capa de fricción puede estar en uno o en los dos lados del disco. Este disco se acciona mediante un pistón que se desplaza cuando se le somete a presión hidráulica.

Cuando el embrague se cierra, la transmisión del movimiento se realiza mediante la fricción del disco o los discos con la carcasa. De este modo, el movimiento del motor pasa directamente a la turbina, anulándose la transmisión hidrodinámica y transmitiéndose todo el par motor al eliminarse el resbalamiento que se produce en el convertidor de par.

El accionamiento del pistón del embrague anulador se realiza por medio de válvulas que envían aceite a presión a un lado u otro del pistón, uniendo o separando el disco de fricción de la carcasa del convertidor.

Así, pues, el accionamiento del embrague anulador es llevado a cabo por el elemento de gobierno de la transmisión automática, la cual alimentará la válvula que comanda al pistón accionador.



3.9. Rodamiento unidireccional de cuerpos de apriete.

2.2 > Funcionamiento del convertidor de par

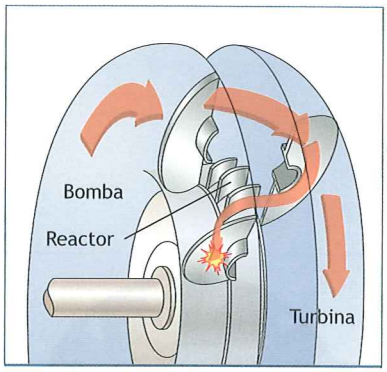
El funcionamiento del convertidor de par se puede dividir en tres fases:

- Fase de multiplicación del par.
- Fase de acoplamiento hidráulico o embragado.
- Fase de actuación del embrague anulador del convertidor.

En las dos primeras fases la transmisión de potencia se realiza por medios hidrodinámicos y en la tercera mediante la fricción de dos elementos.

Fase de multiplicación de par

Esta fase del funcionamiento tiene lugar cuando existe una gran diferencia de giro entre la bomba y la turbina, es decir, durante el arranque, la aceleración y el frenado del vehículo, ya que en estos casos la componente axial de la fuerza con la que se desplaza el fluido dentro del convertidor es mayor.

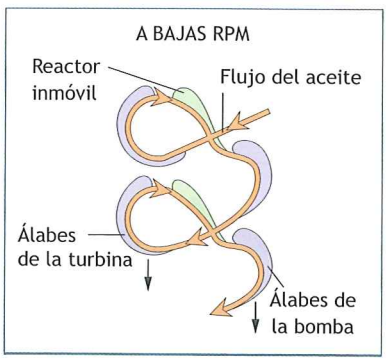


3.10. Funcionamiento del reactor en la fase de multiplicación de par

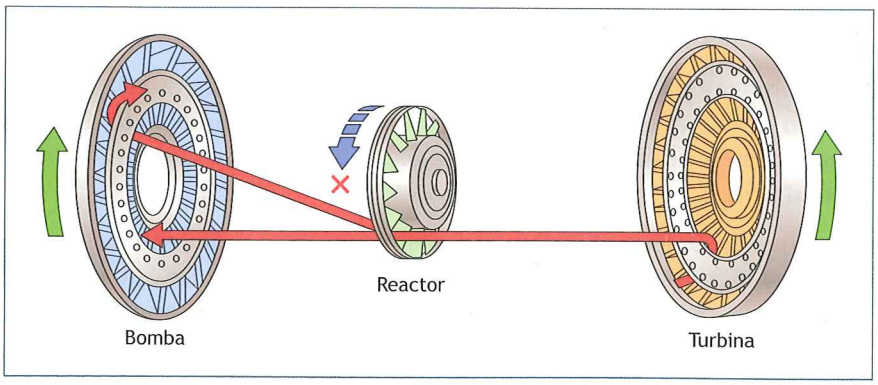
Cuando el motor es puesto en funcionamiento, la bomba toma el fluido por su parte central y le imprime una fuerza centrífuga, proyectándolo por su periferia contra la turbina, la cual empezará a girar lentamente.

Como en el arranque y la aceleración la diferencia de giro entre la turbina y la bomba es muy grande, el fluido, al salir de la turbina hacia la bomba, incide en el sentido contrario al giro de la misma por la forma de los álabes de la turbina. Para evitar este inconveniente se utiliza el reactor, que se encarga de reorientar el fluido que sale de la turbina para que incida sobre los álabes de la bomba en su sentido de giro. Como el aceite todavía dispone de cierta cantidad de energía al abandonar la turbina, consigue ayudar a girar a la bomba y, por tanto, aumenta el par motor.

Para realizar esta orientación del fluido, el reactor tiene que bloquearse en el sentido de giro contrario al de la bomba y la turbina, función de la que se encarga el rodamiento unidireccional sobre el que va montado.



3.11. Reactor inmóvil en la fase de multiplicación de par.



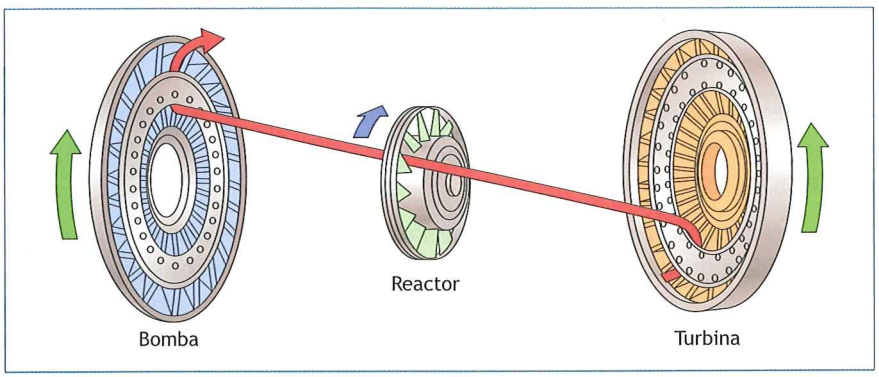
3.12. Fase de funcionamiento de multiplicación de par.

La mayor multiplicación de par se produce cuando tiene lugar un gran resbalamiento entre la bomba y la turbina; al ir igualándose las velocidades entre ambas la multiplicación va disminuyendo hasta el punto de acoplamiento, donde el par de entrada es igual al de salida. Este aumento de par en el arranque del vehículo puede alcanzar entre 1,8 y 2,5 veces el par motor.

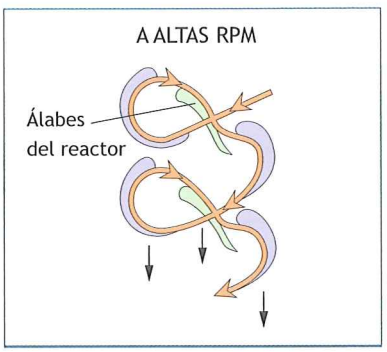
Fase de acoplamiento hidráulico

Al ir aumentando la velocidad de la turbina e ir igualándose a la de la bomba, el fluido que sale de la primera incide en los álabes de la segunda en el sentido correcto de giro, con lo que en esta fase ya no se necesitaría el reactor. De hecho, sería incluso perjudicial, ya que presentaría una resistencia al paso del líquido entre los dos elementos, rompiendo su flujo constante. En este punto es cuando el rodamiento unidireccional permite al reactor girar en el sentido de giro de la bomba y la turbina para evitar este inconveniente.

Así, en esta fase, el convertidor funciona ya como un embrague hidráulico, donde el par de entrada es igual al de salida y el resbalamiento entre la bomba y la turbina es de entre un 4 y un 5%.



3.13. Fase de funcionamiento del acoplamiento hidráulico.



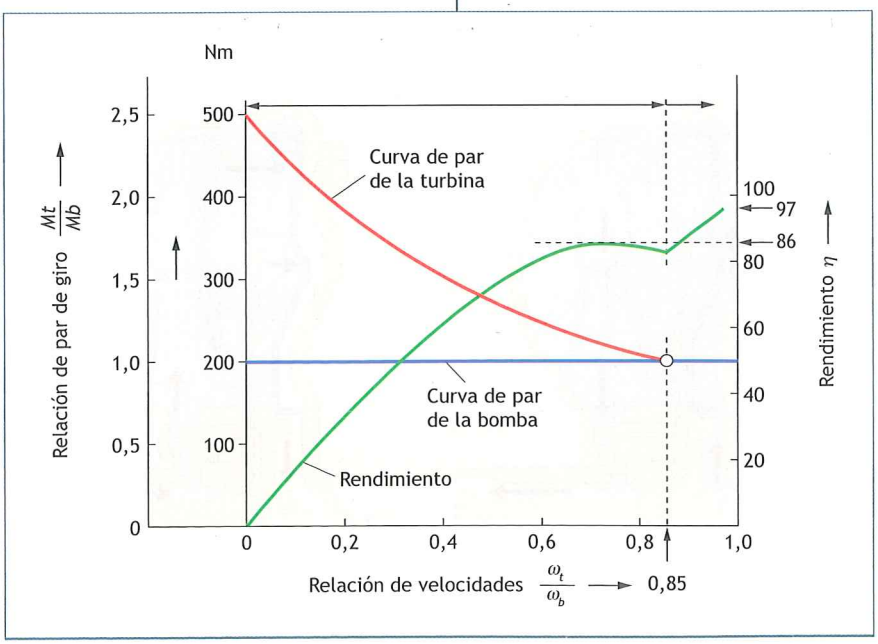
3.14. Reactor girando en la fase de acoplamiento.

La figura 3.15 muestra cómo evoluciona la relación entre el par motor de entrada al convertidor y el par de salida en función del resbalamiento entre la bomba y la turbina.

En ella se puede apreciar cómo se multiplica el par cuando existe un gran resbalamiento y cómo se aproxima el par transmitido al par de entrada cuando se igualan las velocidades de la bomba y la turbina.

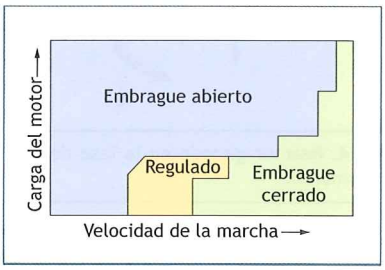
También puede apreciarse cómo varía la curva de rendimiento del convertidor desde el mínimo, cuando hay gran resbalamiento, hasta llegar al máximo, cuando el resbalamiento es mínimo.

Para mejorar el rendimiento del convertidor y, por tanto, también el consumo de combustible, este posee un embrague anulador, encargado de eliminar el resbalamiento producido al transmitir el movimiento mediante fricción.



3.15. Gráfica de funcionamiento del convertidor.

3.16. Disco de un embrague anulador.



3.17. Regulación del embrague anulador.

Fase de actuación del embrague anulador del convertidor

El embrague anulador del convertidor puede presentar tres estados (figura 3.18): abierto, cerrado y pilotado.

Con el **embrague abierto**, el aceite del convertidor de par entra por la cara del pistón accionador del embrague anulador, situada enfrente de la carcasa, y lo desplaza. De este modo separa dicho embrague de la carcasa, al igualarse las presiones a ambos lados del pistón accionador, y entra en el convertidor para realizar la transmisión hidrodinámica.

El sentido del aceite que entra en el convertidor viene determinado por un grupo de válvulas o electroválvulas gestionadas por una centralita.

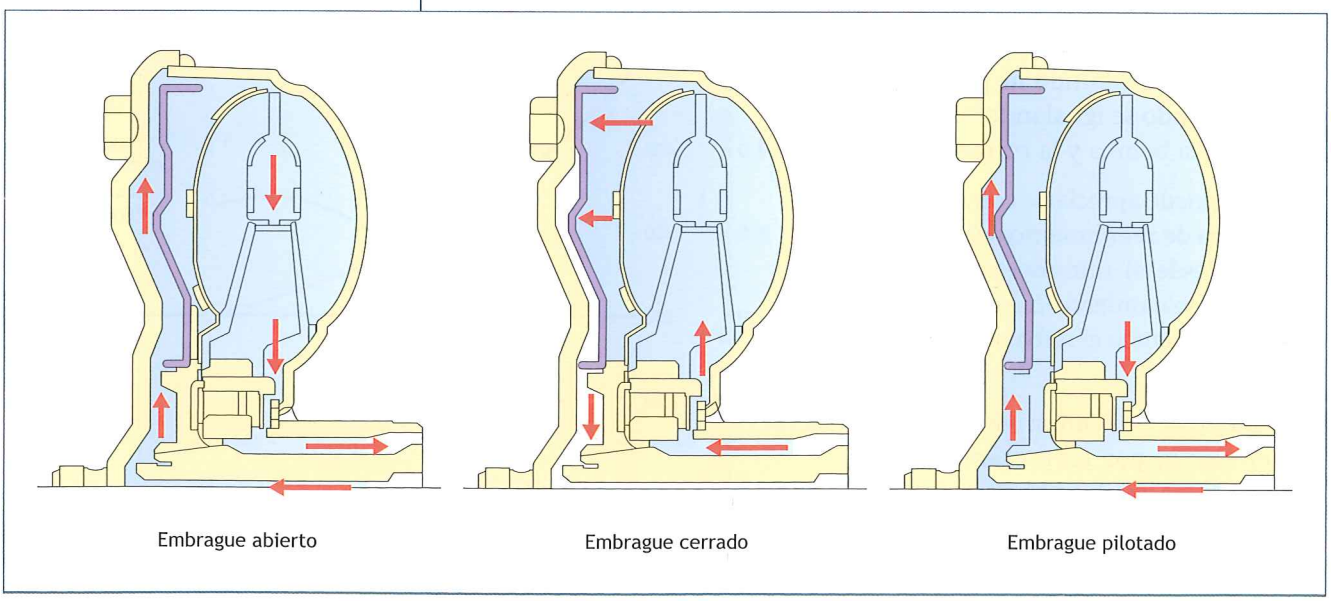
Con **el embrague cerrado**, el aceite entra en el convertidor por el otro conducto e incide en el pistón accionador del embrague por la cara que da a la turbina. Así, el embrague se aprieta contra la carcasa y, mediante la fricción de ambos, se transmite el par motor.

En este estado se elimina el resbalamiento que se produce en el convertidor, transmitiéndose íntegramente el par motor y, por tanto, reduciéndose el consumo de combustible.

Con el **embrague pilotado**, su accionamiento permite un deslizamiento de unas 50 rpm entre la turbina y la carcasa. Con esto se consigue obtener las mismas ventajas del embrague cerrado, además de absorber las vibraciones torsionales que se producen en las variaciones de carga del motor.

La regulación del embrague anulador viene determinada por los siguientes parámetros:

- Revoluciones del motor.
- Revoluciones de la turbina.
- Régimen de salida y estado de marcha del vehículo.
- Par motor y temperatura del aceite (ATF).

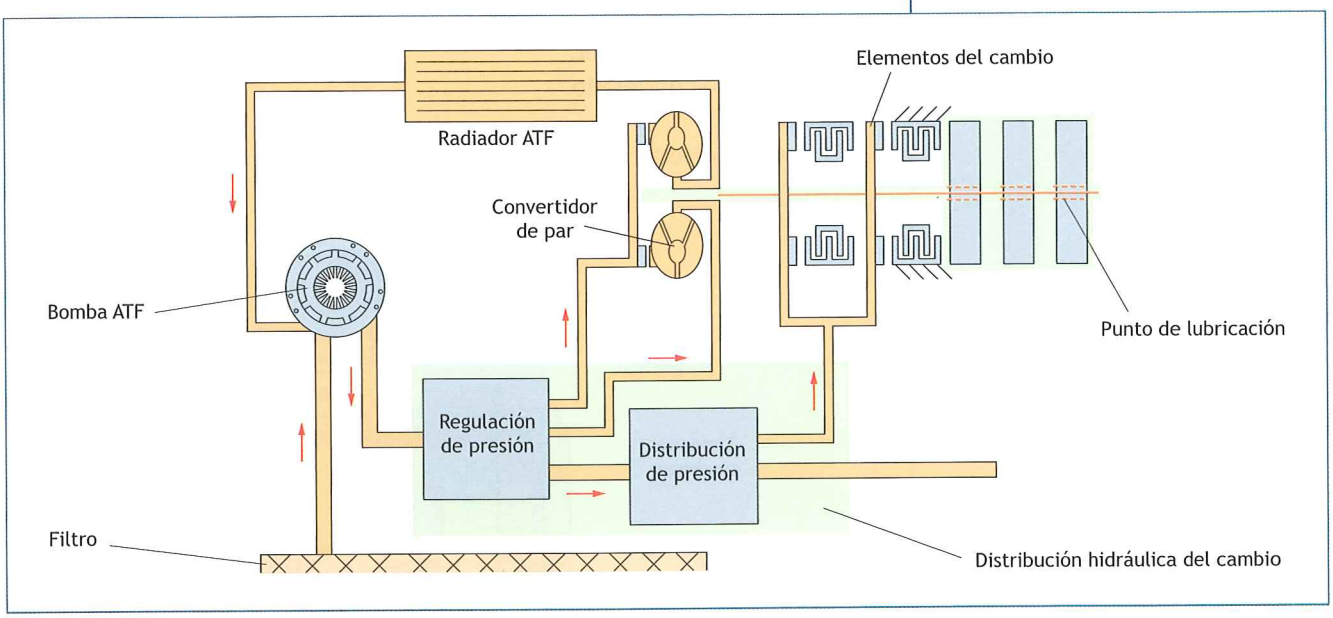


3.18. Fases de funcionamiento del embrague anulador del convertidor.

2.3 > Circuito de alimentación de aceite de convertidor de par

La alimentación de aceite de convertidor de par se realiza de forma continua mediante un circuito separado y gobernado por unas válvulas reguladoras de presión. El calor producido por la transmisión hidrodinámica del par y por la fricción del embrague anulador se disipa con la circulación continua del aceite a través del convertidor y del intercambiador de agua/ATF presente en el circuito.

Cuando el embrague anulador está accionado, esta circulación se reduce al tapar el pistón accionador el paso del aceite, pero el embrague dispone de agujeros calibrados que permiten un paso restringido del aceite.



3.19. Circuito de alimentación y refrigeración del aceite del convertidor.

2.4 > Diagnóstico de anomalías del convertidor de par

La anomalía que se le puede imputar al convertidor es la falta de potencia o de velocidad del vehículo. Esta anomalía está causada, principalmente, por resbalamientos entre la bomba y la turbina, bloqueo del reactor o rotura de su rodamiento unidireccional, como se especifica a continuación:

- **Falta de par y potencia a bajo régimen:** se debe a que el reactor no se bloquea porque el rodamiento unidireccional está roto.
- **Falta de par y potencia a alto régimen que limita la velocidad máxima del vehículo:** se debe a que el reactor se queda bloqueado.
- **Pérdida de potencia y ruido en cada régimen:** se debe a uno o varios álabes desengastados.
- **El vehículo no avanza:** se debe a un excesivo resbalamiento entre la bomba y la turbina que se produce o bien porque no hay aceite en el convertidor o bien porque el aceite está en mal estado o tiene agua.

Si al verificar el aceite de la transmisión automática se comprueba que está en mal estado, debe cambiarse, desmontando del vehículo el convertidor y limpiando su interior con productos recomendados por el fabricante.

ATF

El ATF es el aceite presente en las transmisiones automáticas *(automatic transmisión fluid)*. Es específico para cada transmisión automática, dependiendo de su año de construcción. Pueden alcanzar altas temperaturas durante el cambio de marchas por lo que deben presentar altas cualidades.

En todo el mundo se reconocen los estándares establecidos para los ATF por General Motors (ATF Dexron) y Ford (ATF Mercon).

3 >> Embrague electromagnético o metálico

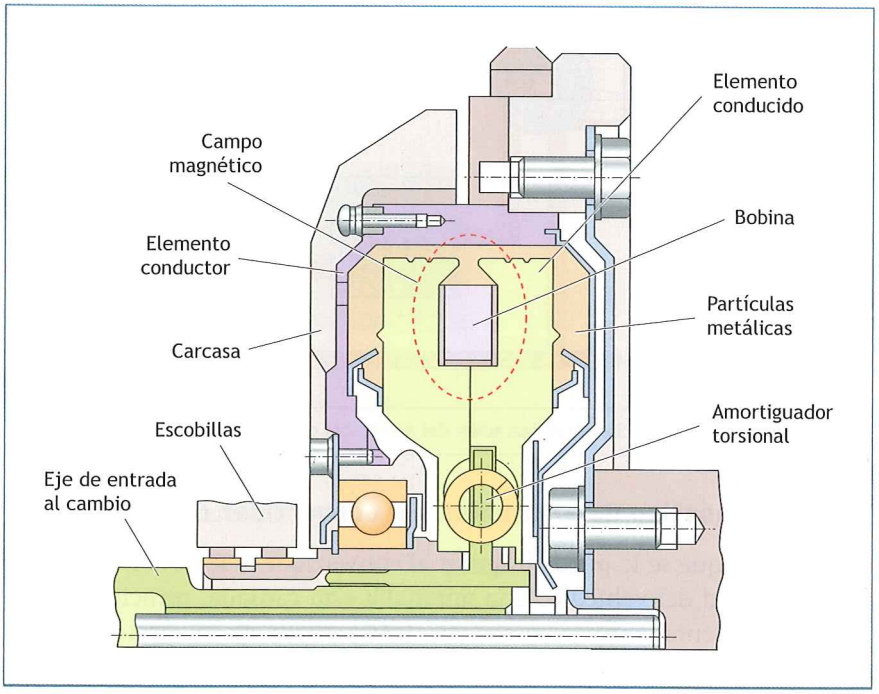
Este embrague utiliza como elemento transmisor de potencia los campos magnéticos que aparecen cuando se alimenta eléctricamente una bobina.

Esta transmisión se ayuda de partículas metálicas en forma de polvo que, una vez magnetizadas, permiten la transmisión del movimiento entre el elemento conductor, solidario al motor, y el elemento conducido, el eje de entrada al cambio de velocidades.

Este tipo de embrague puede ir montado en turismos dotados de cambios automáticos de variación continua o CVT.

Las componentes esenciales de este embrague son (figura 3.20):

- El elemento conductor.
- El elemento conducido.
- La bobina.
- El circuito eléctrico y electrónico de alimentación de la bobina.



3.20. Componentes del embrague electromagnético.

El elemento conductor va atornillado al motor y la bobina eléctrica está atornillada a él para que ambos giren solidariamente.

Entre el elemento conductor y el conducido se sitúa una carcasa en cuyo interior se encuentran las partículas metálicas.

En el exterior de la carcasa del embrague se colocan los anillos colectores, donde están situadas las escobillas encargadas de alimentar eléctricamente la bobina.

El elemento conducido va unido al eje de entrada al cambio de velocidades mediante amortiguadores torsionales.

3.1 > Funcionamiento del embrague

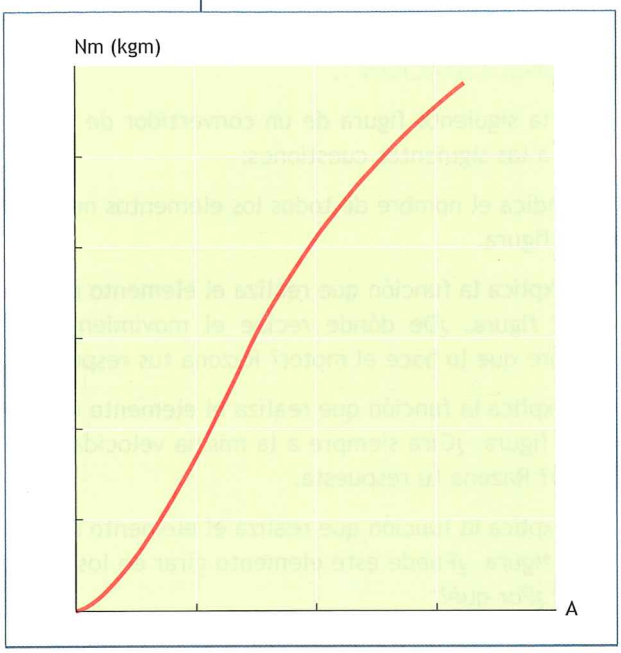
El embrague electromagnético funciona cuando se aplica una corriente eléctrica a la bobina, lo que genera la aparición de un campo magnético gracias al cual se unen entre sí el elemento conducido y el conductor.

Las partículas metálicas colocadas entre ambos elementos se orientan al crearse el campo magnético, haciendo que el conjunto se solidarice y que se pueda transmitir el movimiento.

El par transmitido por el embrague electromagnético variará en función de la intensidad de la corriente suministrada a la bobina (figura 3.21): cuando esta aumente, aumentará el par transmitido.

La intensidad de esta corriente eléctrica se encuentra entre 0,5 y 3,3 amperios.

Para suministrar una determinada corriente eléctrica, el circuito electrónico que gobierna a la bobina del embrague utiliza la información que recibe de varios sensores: posición del pedal acelerador, revoluciones del motor, velocidad del vehículo, posición de la palanca de selección, etc.



3.21. Transmisión de par de un embrague electromagnético en función de la intensidad de la corriente eléctrica transmitida a su bobina.

La corriente eléctrica se suministra a la bobina por medio de unas escobillas que están en constante rozamiento con los dos extremos de dicha bobina. El problema de este tipo de transmisión de corriente es que las escobillas están sometidas a un desgaste constante.

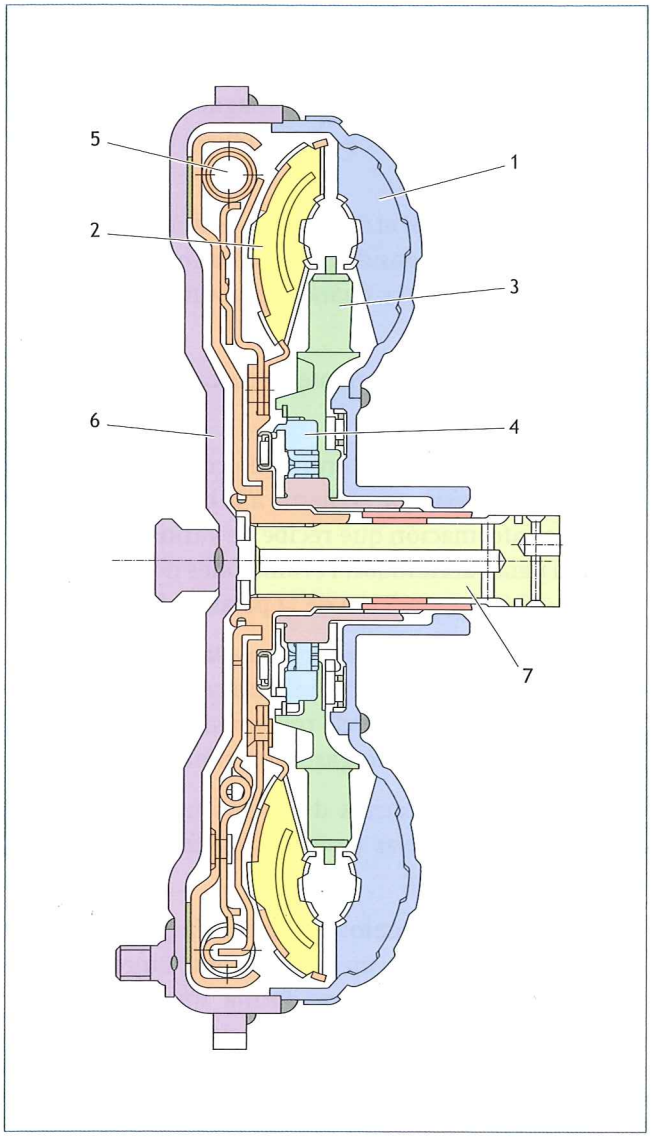
La alimentación eléctrica de la bobina del embrague electromagnético puede presentar varias fases. Dichas fases vienen dadas por el funcionamiento del vehículo:

- **Arranque del vehículo:** en esta fase la gestión de la alimentación eléctrica de la bobina permite un deslizamiento entre los dos elementos del embrague para conseguir, de esta forma, un arranque suave del vehículo. Esto se consigue aumentando la intensidad de la corriente que se suministrada a la bobina progresivamente, según vaya aumentando el giro del motor.
- **Funcionamiento del vehículo:** en esta fase la alimentación eléctrica de la bobina varía en función de la posición en la que se encuentre el pedal del acelerador. La mayor intensidad es suministrada con el pedal pisado a fondo.
- **Parada del vehículo:** en esta fase se suministra una pequeña intensidad, 0,5 amperios, para permitir una mejor subida de velocidad del vehículo.
- **Embrague no alimentado:** en esta fase la intensidad suministrada va disminuyendo progresivamente hasta los 0 amperios para conseguir deceleraciones del vehículo sin tirones. Aunque no exista intensidad, todavía existe un campo magnético debido al magnetismo residual.
- **Embrague alimentado de forma inversa:** en esta fase a la bobina se le suministra corriente eléctrica con polaridad inversa para eliminar el magnetismo residual y así desacoplar completamente el movimiento entre el motor y el cambio de velocidades.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

Dada la siguiente figura de un convertidor de par, contesta a las siguientes cuestiones:



1·· Indica el nombre de todos los elementos numerados en la figura.

2·· Explica la función que realiza el elemento número 1 de la figura. ¿De dónde recibe el movimiento? ¿Gira siempre que lo hace el motor? Razona tus respuestas.

3·· Explica la función que realiza el elemento número 2 de la figura. ¿Gira siempre a la misma velocidad que el motor? Razona tu respuesta.

4·· Explica la función que realiza el elemento número 4 de la figura. ¿Puede este elemento girar en los dos sentidos? ¿Por qué?

5·· Si el elemento número 4 presentase un funcionamiento defectuoso, ¿qué se percibiría en el vehículo y en qué momento?

6·· ¿El aceite del convertidor de par es siempre el mismo o se va cambiando a medida que va funcionando? Razona tu respuesta.

7·· Explica la función que realiza el elemento número 5 de la figura. ¿Cuántas fases de funcionamiento presenta? ¿A qué elementos hace solidarios? ¿Puede haber muelles colocados en él? Razona tus respuestas.

8·· Explica la función que realiza el elemento número 6 de la figura. ¿Qué elemento del motor lo acciona? ¿Qué elemento es accionado por él en la caja de cambios automática? Razona tus respuestas.

9·· Explica la función que realiza el elemento número 7 de la figura. ¿Con qué elemento va engranado de forma constante?

.: APLICACIÓN :.

1·· Calcula las revoluciones que transmite el embrague hidráulico a la caja de cambios cuando existe un resbalamiento del 4% y el motor está gira a 2000 rpm.

2·· Calcula el par de giro que se transmite a la turbina de un convertidor de par que presenta la curva característica de la figura 3.5 cuando existe un resbalamiento de un 20%.

Caso final

Realización de la prueba de calado del motor

•• Comprueba, realizando una prueba de calado, si el funcionamiento y montaje del convertidor de par (o del embrague hidráulico) son correctos.

Solución ••

Antes de realizar la prueba tenemos que cerciorarnos de que el circuito hidráulico de la transmisión automática funciona correctamente, tanto en su presión máxima como en la de regulación.

También hemos de comprobar en este momento que tanto el motor como los frenos del vehículo funcionan correctamente.

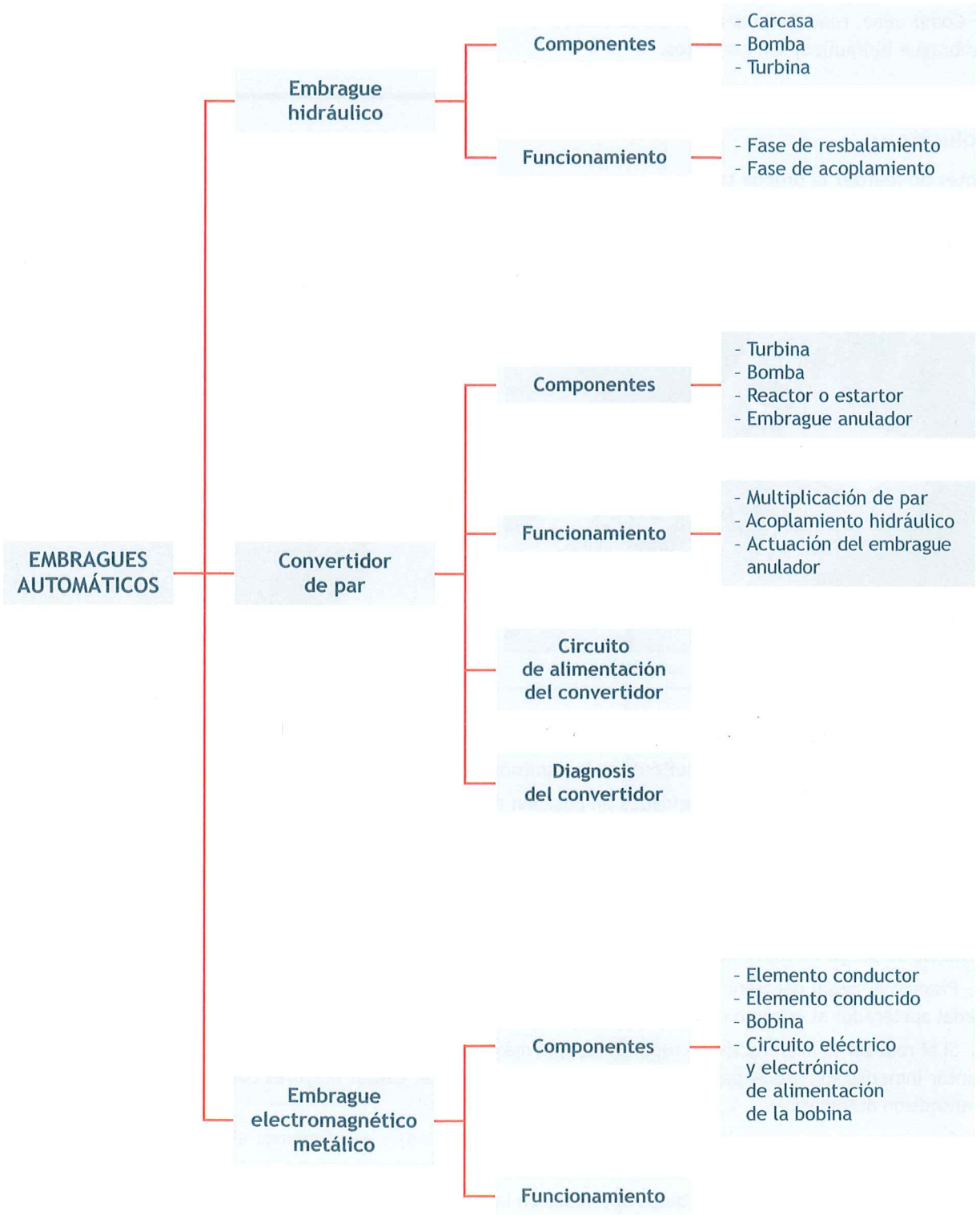
3.22. Palanca de cambios de un vehículo automático.

3.23. Convertidor de par.

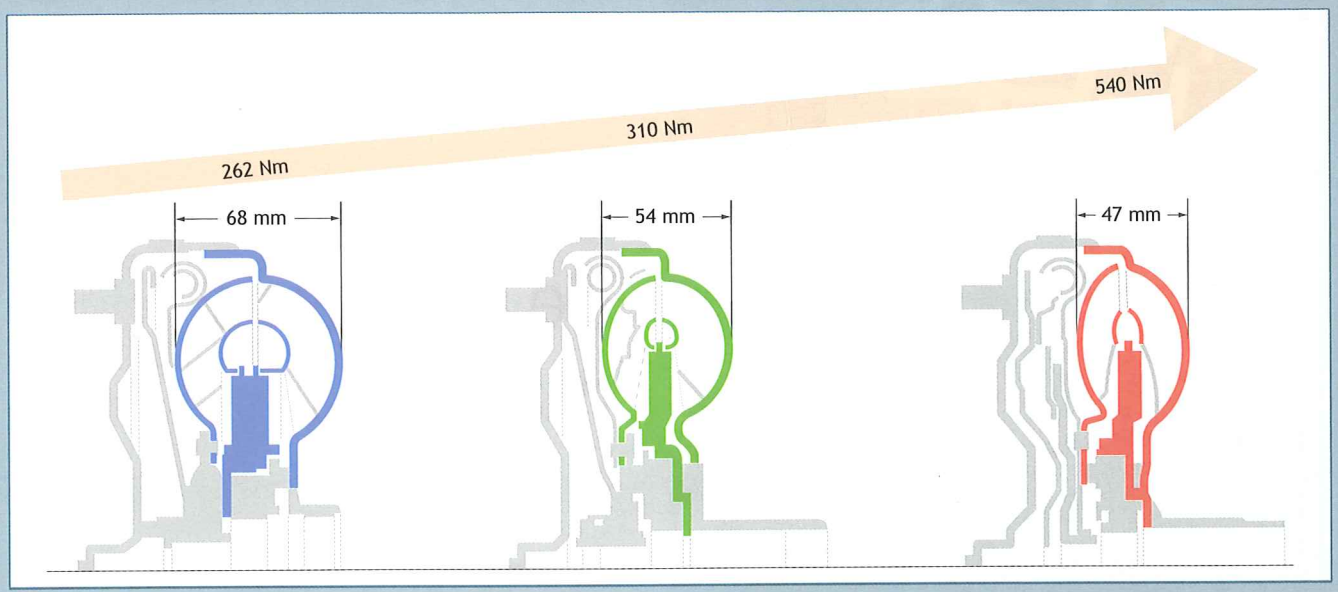
Una vez hecho esto los pasos que seguimos para realizar la prueba de calado son los siguientes:

1. Verificamos que el nivel de aceite de la transmisión se encuentra entre los valores mínimo y máximo.
2. Colocamos la palanca de velocidades en posición neutra y ponemos en marcha el vehículo manteniéndolo a unas revoluciones de entre 900 y 1 000 rpm, hasta que el aceite de la transmisión tenga una temperatura de unos 35 °C.
3. Conectamos un tacómetro al motor para leer las revoluciones máximas obtenidas en la prueba.
4. Accionamos el freno de estacionamiento y colocamos calzos o rodillos en las ruedas para evitar que el vehículo se ponga en movimiento.
5. Pisando el pedal del freno de servicio, colocamos la palanca en posición «D» *(drive)* y entonces pisamos el pedal acelerador al máximo durante cinco segundos, anotando las rpm registradas por el tacómetro.
6. Si al realizar la aceleración se superan las rpm máximas indicadas en el manual del fabricante, hay que levantar inmediatamente el pie del pedal acelerador para evitar causar mayores daños en el embrague o en la transmisión automática.
7. Colocamos nuevamente la palanca en posición «N» (neutro) y mantenemos el motor arrancado durante varios minutos al régimen de ralentí para conseguir que el aceite del embrague se refrigere.
8. A continuación cotejamos los datos obtenidos en la prueba con los valores indicados por el fabricante para poder detectar posibles anomalías presentes en el convertidor de par o en la transmisión automática.

Ideas clave


EMBRAGUES AUTOMÁTICOS
Embrague hidráulico
Componentes
- Carcasa
- Bomba
- Turbina
Funcionamiento
- Fase de resbalamiento
- Fase de acoplamiento
Convertidor de par
Componentes
- Turbina
- Bomba
- Reactor o estartor
- Embrague anulador
Funcionamiento
- Multiplicación de par
- Acoplamiento hidráulico
- Actuación del embrague anulador
Circuito de alimentación del convertidor
Diagnosis del convertidor
Embrague electromagnético metálico
Componentes
- Elemento conductor
- Elemento conducido
- Bobina
- Circuito eléctrico y electrónico de alimentación de la bobina
Funcionamiento

Evolución del tamaño del convertidor de par



3.24. Evolución del convertidor de par.

En la figura 3.24 se ve la evolución experimentada por la forma del convertidor de par y cómo, a pesar de que se ha reducido su tamaño, se ha conseguido también aumentar su capacidad de transmisión de par.

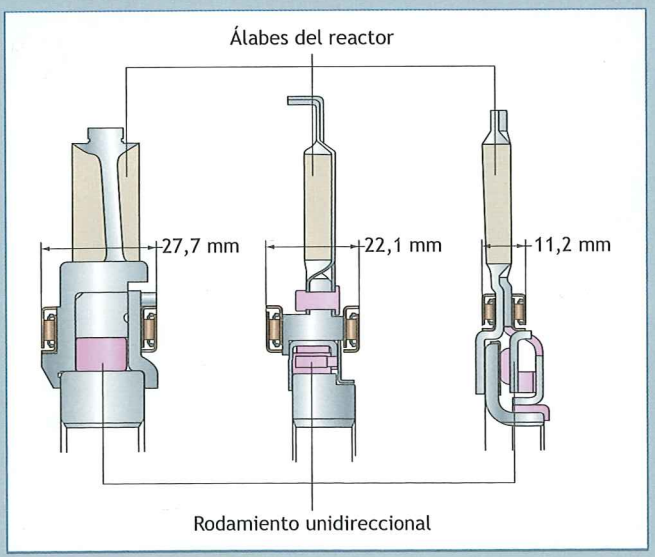
Con el estrechamiento del convertidor de par se ha logrado, además del aumento de par, reducir su peso y dimensión axial en un 20%. Esto posibilita que la transmisión donde va colocado reduzca su longitud y que, de este modo, se pueda colocar en vehículos de menor tamaño.

Para conseguir esta reducción del tamaño del convertidor en su eje axial, se han ido desarrollando diferentes tipos de embragues de bloqueo del convertidor con la intención de optimizar el trabajo que realiza el elemento, dado su tamaño. También se han redefinido el tamaño y la forma de los álabes de la turbina, la bomba y el reactor, para que esta reducción de tamaño no afectase a las funciones desarrolladas por estos elementos.

Uno de los cambios más importantes se ha efectuado en el reactor. En él se ha reducido el grosor de los álabes y, como consecuencia, se ha tenido que duplicar su número para no reducir la capacidad de transmisión del par motor. Esta disminución de grosor ha sido posible gracias al material con el que se ha fabricado: acero estampado.

Otra característica importante en el reactor es la colocación del rodamiento unidireccional que le permite realizar su función. Aquí la reducción se ha conseguido fabricando la pista exterior de este rodamiento con el mismo material del que están hechos los álabes y montándolo de forma compacta en el anillo interior del reactor, de modo que todo ello forma un cuerpo.

Fuente: www.luck.com



3.25. Evolución del reactor.

unidad 4

La caja de cambios manual I

SUMARIO

- Elementos de la caja de cambios
- Cadena cinemática y relaciones de transmisión
- Sincronización. Tipos de sincronizadores y su funcionamiento
- Tipos de cajas de cambios y sus relaciones de transmisión
- Selección de las velocidades

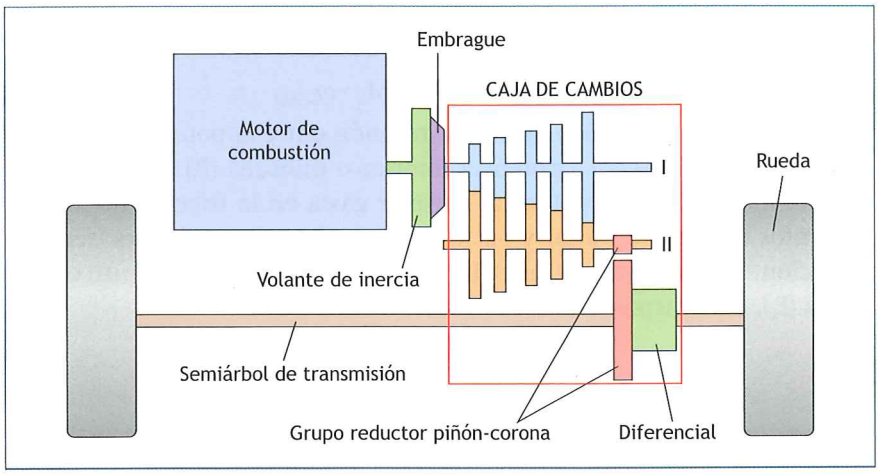
OBJETIVOS

- Conocer los componentes de una caja de cambios manual.
- Comprender el funcionamiento y la necesidad de una caja de cambios manual.
- Calcular los esfuerzos generados y las relaciones de transmisión.

1 >> Caja de cambios manual

La misión de la caja de cambios manual es transmitir y transformar el par y las revoluciones del motor a voluntad del conductor para adecuarlas a las condiciones de marcha del vehículo y, en su caso, invertir su sentido de giro cuando se selecciona la marcha atrás e interrumpir la cadena cinemática de la transmisión.

La caja de cambios está situada entre el embrague y los elementos de enlace con las ruedas.



4.1. Ubicación de la caja de cambios en un sistema de transmisión.

1.1 > Conceptos físicos

Algunos conceptos físicos útiles para estudiar la función de la caja de cambios dentro del sistema de transmisión de los vehículos son:

- **Fuerza (*F*):** es una magnitud física que modifica la velocidad de los cuerpos. En el S.I. se mide en **newtons (N):** 1 N = 1 kg · 1 m/s^2. Su valor depende de la masa (*m*) del cuerpo y de la aceleración (*a*) que se le imprima:

$$F = m \cdot a$$

- **Trabajo (*W*):** es el producto de la fuerza (*F*) que mueve un cuerpo por el espacio (*e*) que ha recorrido dicho cuerpo. En el S.I. se mide **en julios (J):** 1 J = 1 N · 1 m.

$$W = F \cdot e$$

- **Potencia (*P*):** es la cantidad de trabajo realizado (*W*) por unidad de tiempo (*t*). En el S.I. se mide en **vatios (W):** 1 W = 1 J/1 s.

$$P = \frac{W}{t} = F \cdot \frac{e}{t} \xrightarrow{\text{velocidad } (v) = \frac{e}{t}} P = F \cdot v$$

- **Velocidad angular (ω):** es la velocidad de un sistema de rotación. Mide el ángulo de giro por la unidad de tiempo (*t*). En el S.I. se mide en radianes por segundo (rad/s). La velocidad angular de un elemento que gira a *n* revoluciones por minuto se calcula con la fórmula:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ en rad/s}$$

Otras unidades de medida

Fuerza

- Kilogramo fuerza (kgf):
  1 kgf = 9,8 N

Trabajo

- Kilogramo metro (kgm):
  1kgm = 9,8 J

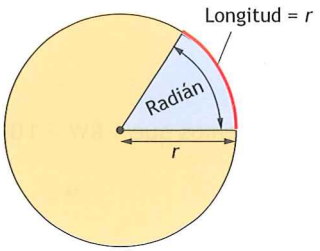
Potencia

- Caballo de vapor (CV):
  1 CV = 736 W
- Kilovatio (kW):
  1 kW = 1000 W
  1 kW = 1,36 CV
- Kilogramo metro por segundo (kgm/s):
  75 kgm/s = 1 CV

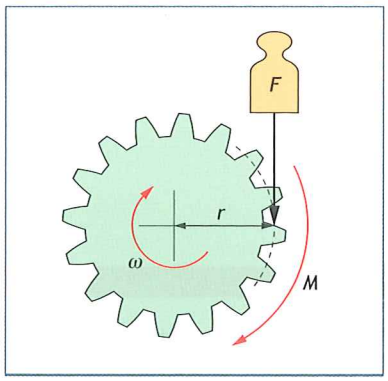
Radianes

Los ángulos se pueden medir en grados o en radianes.

Un radián abarca una longitud de circunferencia igual a la longitud del radio:



Este radián equivale, aproximadamente, a 57,296°.



4.2. Concepto de momento o par.

Otra unidad de par motor

El par motor también puede expresarse utilizando el **kilogramo metro (kgm).**

Para evitar confusiones con la unidad de trabajo se puede expresar así: mkg.

- **Momento o par (M):** es el producto de una fuerza (F) por la distancia (r) al eje de geometría del elemento de giro (brazo de palanca de la fuerza) donde esta se aplica (figura 4.2). Se mide en newtons por metro (Nm):

$$M = F \cdot r$$

De esta forma, la potencia (P) en función del par motor (M) y la velocidad angular (ω) se determina según la siguiente expresión:

$$P = M \cdot \omega$$

- **Relación de potencia en la caja de cambios:** la potencia existente a la salida de la caja de cambios será igual a la de entrada suministrada por el motor. Si el par (M) aumenta, debe disminuir la velocidad de giro (ω) y, a la inversa, si aumenta la velocidad debe disminuir el par:

$$P = M \cdot \omega_{entrada} = M_1 \cdot \omega_{salida}$$

- **Rendimiento mecánico (η_m):** es la relación entre la potencia interior y la potencia efectiva. La potencia interior o indicada (P_i) es la generada en el motor. De esta potencia, parte se gasta en la fricción de los elementos del propio motor y parte en los elementos auxiliares (servodirección, bomba de aceite, etc.). La potencia restante, llamada útil o efectiva (P_e), es la disponible en el volante de inercia. Así:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

Casos prácticos

Fórmulas para calcular el par en diferentes unidades

•• Encuentra la fórmula para calcular el par motor con las medidas dadas en las siguientes unidades:

a) La potencia (P) en CV y la velocidad de rotación en rpm (n) para obtener el par motor (M) en mkg.
b) La potencia (P) en kW y la velocidad de rotación en rpm (n) para obtener el par motor (M) en Nm.

Solución •• Utilizamos la fórmula que relaciona potencia y par. Despejando la misma obtenemos:

$$P = M \cdot \omega \Rightarrow M = \frac{P}{\omega}$$

a) Tenemos que 1 CV = 75 kgm/s. Siendo P el número de CV y n las rpm, tenemos:

$$M = \frac{P\ \text{CV}}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60\ s}\right)\text{W}} = \frac{(P \cdot 75)\text{kgm/s}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60\ \text{s}}} = \frac{(P \cdot 75 \cdot 60)\text{kgm}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{4500}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{P}{n}\text{mkg}$$

$$M = 716{,}2 \cdot \frac{P}{n}\text{mkg}$$

b) Tenemos que 1 kW = 1 000 N · m/s. Siendo P el número de kW y n las rpm, tenemos:

$$M = \frac{P\ \text{kW}}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60\ \text{s}}\right)\text{W}} = \frac{(P \cdot 1000)\text{Nm/s}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60\ \text{s}}} = \frac{(P \cdot 1000 \cdot 60)\text{Nm}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{1000 \cdot 60}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{P}{n}\text{Nm}$$

$$M = 9550 \cdot \frac{P}{n}\,Nm$$

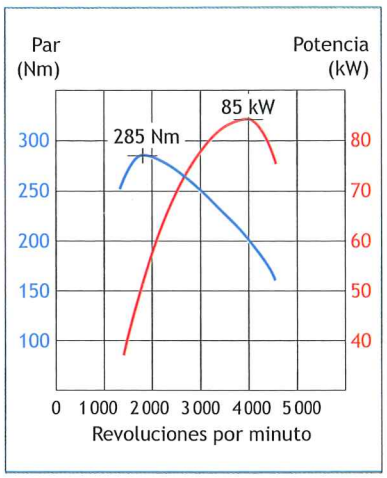
1.2 > Necesidad de la caja de cambios

En la gráfica de la figura 4.3 se puede observar que para alcanzar el máximo par son necesarias 1 900 revoluciones y para alcanzar la potencia máxima, prácticamente el doble, 4 000 revoluciones. En este margen de aproximadamente 2 000 revoluciones es donde este motor desarrolla su máximo rendimiento.

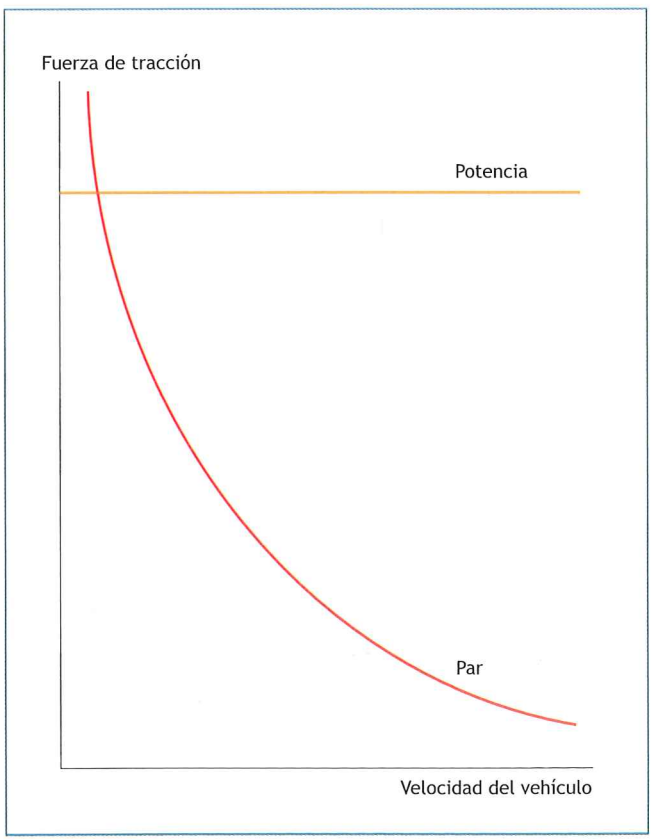
La conducción con un vehículo que dispusiera de una unión directa del motor con las ruedas, bajo las condiciones anteriores, sería completamente imposible, ya que el motor debería estar siempre en ese margen de revoluciones para poder afrontar los pares resistentes y las revoluciones de las ruedas serían las mismas del motor.

La figura 4.4 corresponde a la curva o hipérbola ideal de fuerza de tracción, donde los datos reflejados nos indican que a bajas revoluciones de las ruedas se requiere un par elevado y a altas revoluciones un par bajo, dando como resultado una línea de potencia constante. Comparando esta curva con la del motor, vemos que difieren bastante.

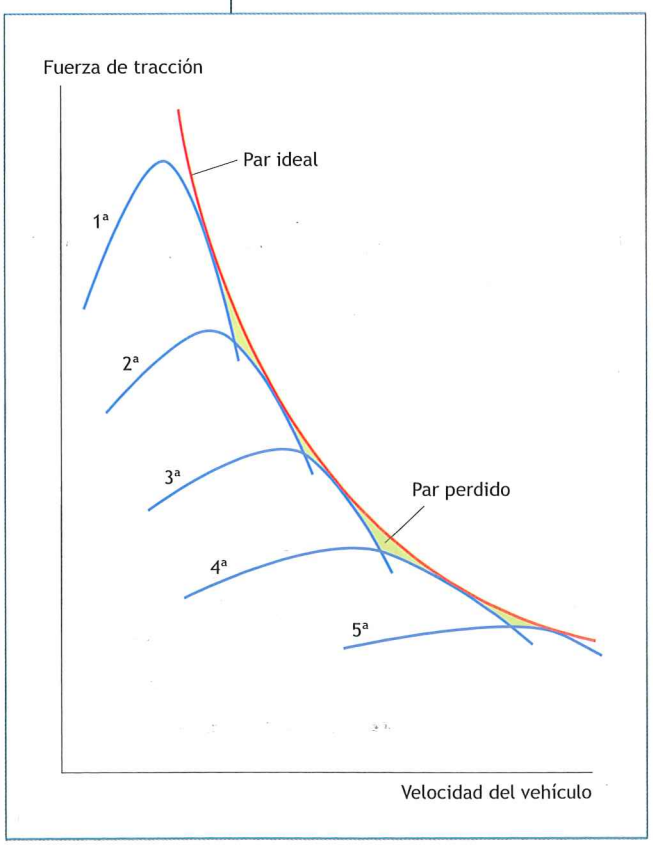
Para solucionarlo y aproximar los datos de motor y tracción se hace necesario el uso de la caja de cambios, que permite aprovechar al máximo el rendimiento del motor adecuando el par del motor y la velocidad de las ruedas a las necesidades de la conducción, tal como se puede observar en la figura 4.5.



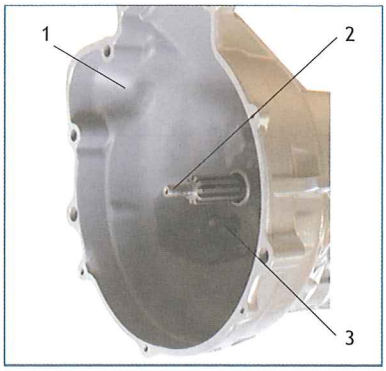
4.3. Gráfica de par y potencia de un motor de combustión interna.



4.4. Curva ideal de fuerza de tracción.



4.5. Desarrollos de una caja de cambios con aproximación a la curva ideal de tracción de las ruedas.



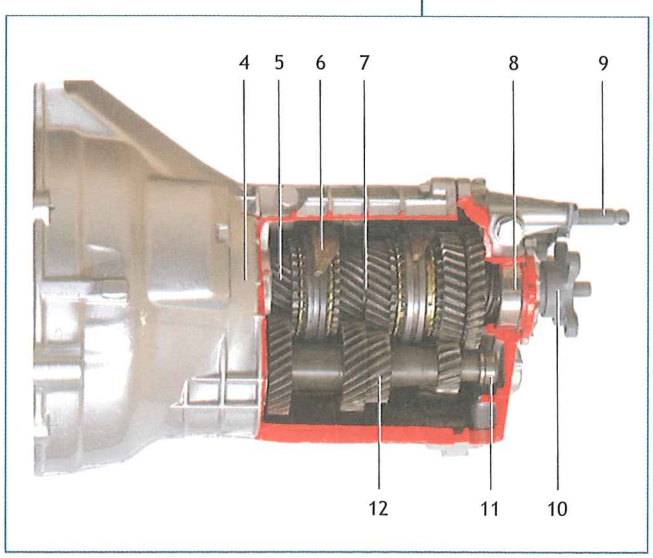
4.6. Carcasa del embrague.

1. Alojamiento del motor de arranque
2. Entrada del árbol primario
3. Vástago del bombín
4. Carcasa del cambio
5. Piñón conductor de toma constante
6. Horquilla de mando
7. Piñones libres
8. Rodamientos
9. Eje de mando
10. Brida de salida
11. Árbol intermedio
12. Piñón fijo
13. Conducto de despresurización
14. Alojamiento del bombín
15. Contactor para la marcha atrás

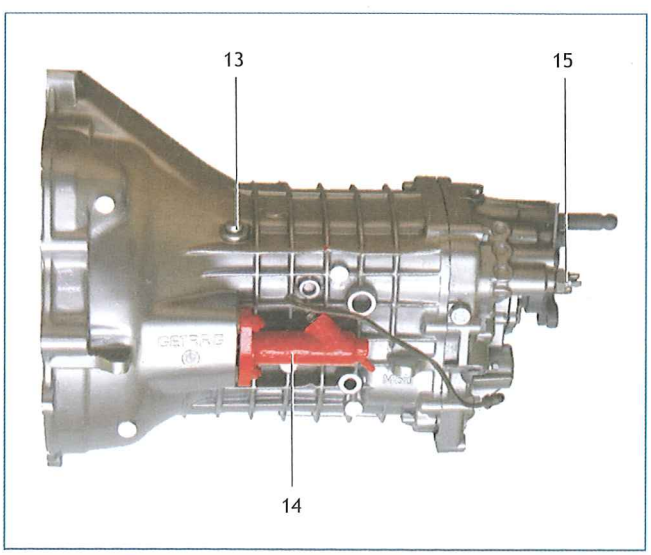
2 >> Elementos de la caja de cambios manual

Los componentes básicos de una caja de cambios manual son:

- La **carcasa** o **envolvente del embrague** (figura 4.6), donde la caja se une al motor de combustión. Dispone de un hueco para el **alojamiento del motor de arranque**, de la **entrada del árbol primario**, con el estriado de unión al disco del embrague, y del **vástago del bombín**, del sistema de accionamiento hidráulico del embrague.
- La **carcasa del cambio** (figura 4.7), donde se alojan la mayor parte de los componentes de la caja:
  - El **árbol primario** y el **piñón conductor de toma constante**, que transfiere la fuerza del motor al interior de la caja.
  - La **horquilla de mando** y el **conjunto sincronizador**, necesarios para la inserción correcta de las velocidades.
  - El **árbol secundario**, que soporta los **piñones libres** y da la salida de fuerza hacia el exterior de la caja.
  - **Rodamientos**, que sustentan y guían el giro de los árboles y ejes.
  - El **eje de mando**, que forma parte de la timonería externa para la selección de las velocidades.
  - La **cruceta de salida**, que, unida al árbol secundario, sirve de salida y unión al árbol de transmisión mediante la junta correspondiente.
  - Un **árbol intermedio**, que sirve como elemento de variación y enlace del movimiento con el árbol secundario.
  - Un **piñón fijo**, que, en unión con el correspondiente piñón libre del árbol secundario, forma parte del par de engranajes de cada una de las correspondientes velocidades.
- Los componentes exteriores de la caja (figura 4.8), que son el **conducto de despresurización**, que evita roturas por la excesiva presión que se pudiera generar, un alojamiento para el **bombín** del sistema de mando hidráulico del embrague de fricción y un elemento de señal, el **contactor**, para la luz de marcha atrás.



4.7. Carcasa del cambio.



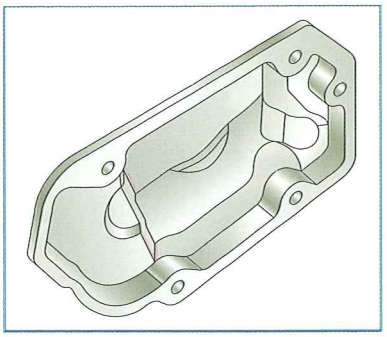
4.8. Componentes exteriores de la caja de cambios.

2.1 > Elementos estructurales de la caja de cambios manual

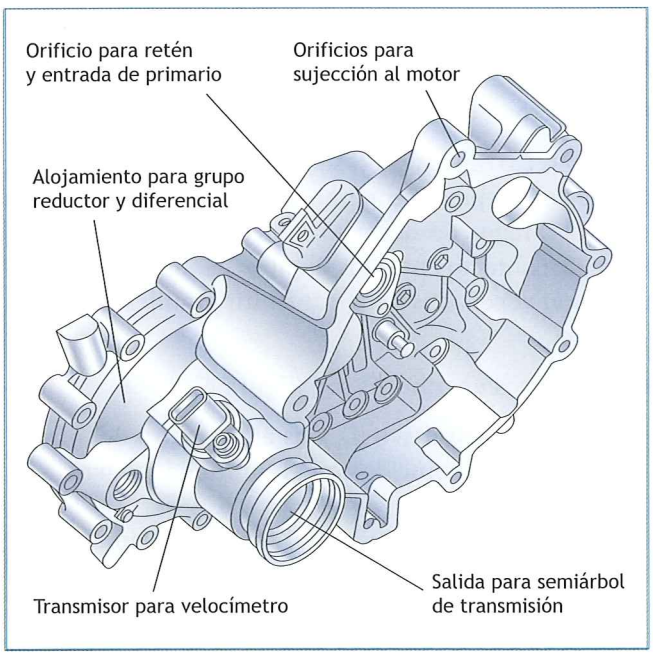
Los elementos estructurales de una caja de cambios son aquellos que forman el armazón exterior de la misma. Su misión es fijar, contener, soportar y proteger el resto de elementos, así como acoger el aceite de lubricación.

Estos elementos son:

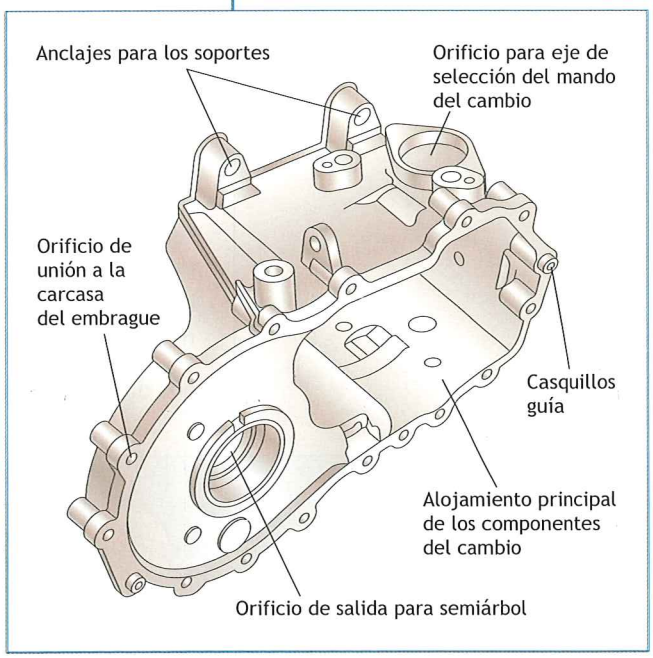
- **La carcasa del embrague o envolvente** (figura 4.10), que le sirve a la caja para unirse al motor. Además envuelve el conjunto de embrague y volante de inercia, alberga el grupo reductor y el conjunto diferencial y hace de soporte de los árboles o ejes.
- **La carcasa del cambio o principal** (figura 4.11), que aloja en su interior los elementos de la cadena cinemática de la caja de cambios. Dispone de anclajes para soportar los *silentblocks*.
- **La tapa para la carcasa principal o cárter de supermarchas** (figura 4.9), que suele ser de chapa de acero y en algunas cajas alberga el conjunto de la quinta velocidad.



4.9. Tapa para la carcasa principal.



4.10. Carcasa del embrague o envolvente.



4.11. Carcasa del cambio o principal.

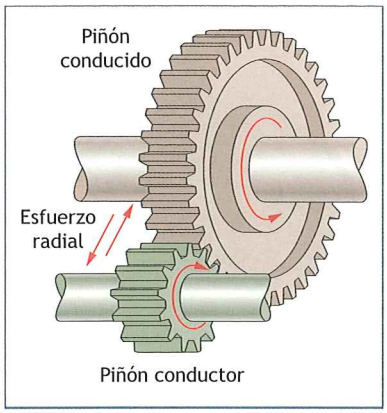
El material que se utiliza en la fabricación de estos elementos es muy variado, desde chapa de acero para la tapa a aluminio (Al) y magnesio (Mg) para las carcasas.

Utilizar materiales de menor densidad, como el magnesio, con el fin de reducir al máximo el peso de los componentes, aproximadamente en un 25%, conlleva tener que hacer modificaciones, como practicar mayor profundidad de rosca para las uniones atornilladas o bien usar técnicas especiales, como los tornillos dacromizados, para evitar la disgregación electroquímica de las uniones (ver revista de electromecánica del capítulo).

Densidad de una sustancia

La densidad (d) es la magnitud que determina la cantidad de masa (m) contenida en un determinado volumen (V):

$$d = \frac{m}{V}$$



4.12. Engranaje de dentado recto.

3 >> Cadena cinemática de la caja de cambios manual

La cadena cinemática de una caja de cambios es el conjunto de varios engranajes situados sobre árboles o ejes que, además de engranar entre sí, tienen como misión mantener la potencia dada por el motor a un determinado número de revoluciones, con par y revoluciones variables a su salida, según los requerimientos de circulación del vehículo.

3.1 > Engranajes

> **Se define como engranaje o ruedas dentadas al mecanismo utilizado dentro de la caja de cambios para transmitir la potencia desde un árbol a otro y mantener la relación de transmisión siempre constante.**

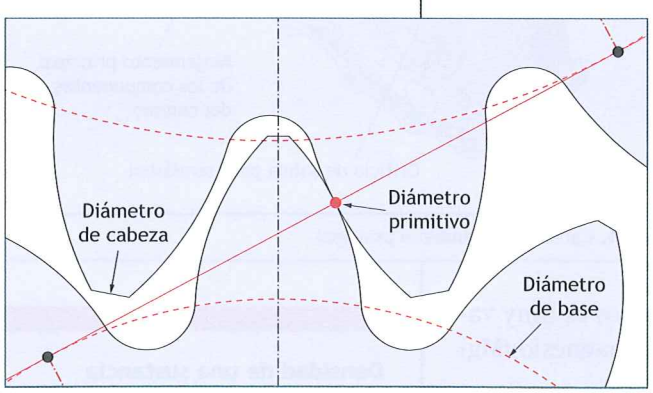
Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas: la que actúa como conductora es el **piñón** y la conducida es la **rueda** o **piñón conducido**. En las cajas de cambios para automóviles existen dos tipos de engranajes según el tallado del diente:

- Engranajes de dentado recto.
- Engranajes de dentado helicoidal.

Engranajes de dentado recto

Los engranajes de dentado recto (figura 4.12) se utilizan para transmitir el movimiento entre árboles en disposición paralela. Su fabricación es más sencilla que la de los engranajes de dentado helicoidal. Debido a que tienen menor superficie de contacto entre los dientes, generan ruido y vibraciones, por lo que no son adecuados para transmitir grandes potencias ni altas velocidades de giro.

Los datos característicos de estos engranajes son (figura 4.13):



4.13. Sección de un dentado recto.

- **Diámetro primitivo (D_p):** es el diámetro del piñón. cuya medida coincide con el punto de tangencia de los dientes.
- **Diámetro de base (D_b):** es el valor del diámetro que limita el dentado por su parte inferior.
- **Diámetro de cabeza o exterior (D_{ext}):** es el valor del diámetro que limita el dentado por su parte exterior.
- **Paso (p):** es la distancia (en mm) entre los flancos de dos dientes consecutivos medida a la altura del diámetro primitivo.
- **Módulo (m):** es el valor del diámetro (en mm) de una circunferencia que tiene como longitud el valor del paso: $m = p / \pi$. Para que dos piñones engranen entre sí, deben tener el mismo módulo.

La relación del módulo con el número de dientes del piñón (Z) y los diámetros primitivo y exterior es la siguiente:

$$m = \frac{D_p}{Z} \qquad m = \frac{D_{ext}}{Z + 2}$$

Engranajes de dentado helicoidal

En este tipo de engranajes el dentado tiene forma de hélice y está inclinado respecto a su eje de giro (figura 4.14). Esta disposición permite engranar más de un par de dientes, aunque no entran en contacto al instante en toda su superficie. Dado que este contacto es progresivo, el engranaje es más suave y silencioso y vibra menos. Por el contrario, el rozamiento de los dientes y su desgaste son mayores.

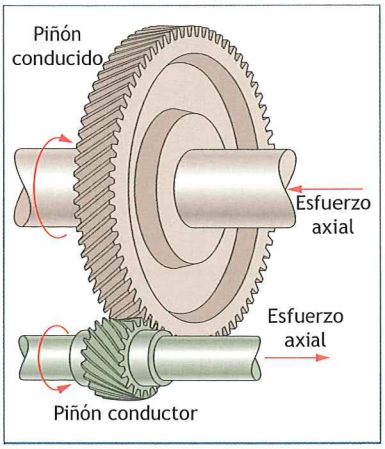
El incremento de fricción de los dientes debido a la inclinación de la hélice provoca una ligera disminución del rendimiento de estos engranajes: aproximadamente un 97,3% frente al 98% de rendimiento de los engranajes de dentado recto.

Otra característica de estos engranajes es que la transmisión de movimiento se puede realizar con árboles paralelos y árboles que se cruzan.

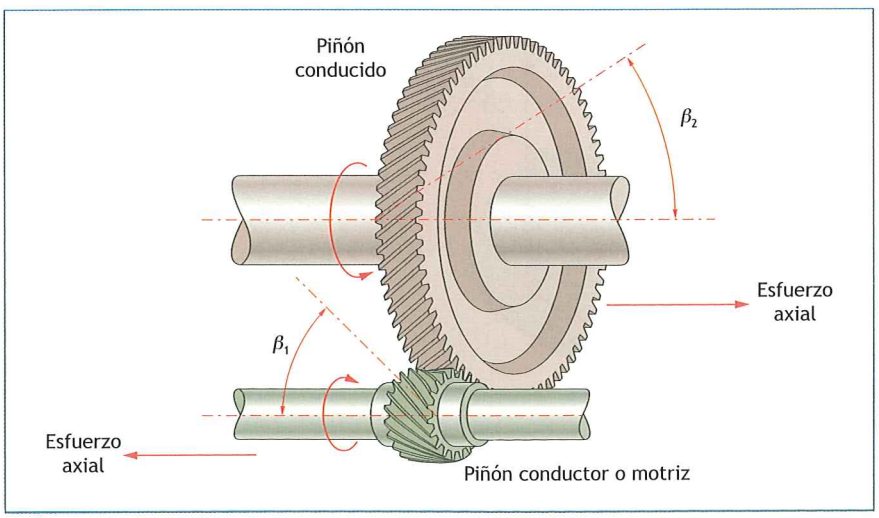
Los datos característicos de estos engranajes son:

- **Ángulo agudo de la hélice (β) del dentado helicoidal.**
- **Ángulo de presión (α),** que es el que forma la línea de acción con la tangente a la circunferencia de paso. Están normalizados en 20° o 25°.
- **Número de dientes del piñón (Z):** $Z = D_p \cdot \dfrac{\cos(\beta)}{M_n}$
- **Módulo normal (M_n):** $M_n = D_p \cdot \dfrac{\cos(\beta)}{Z}$
- **Diámetro primitivo (D_p):** $D_p = M_n \cdot \dfrac{Z}{\cos(\beta)}$

Los engranajes de dentado helicoidal acoplados deben tener el mismo ángulo de hélice (β), pero en sentido contrario. Debido al ángulo de hélice del dentado se producen esfuerzos de tipo axial (figura 4.15). La carga axial generada por los piñones o ruedas de dentado helicoidal depende de dos factores: el sentido de la hélice y el sentido de rotación (piñón conductor o piñón conducido), carga axial que debe controlarse con los rodamientos adecuados.



4.14. Engranaje de dentado helicoidal.

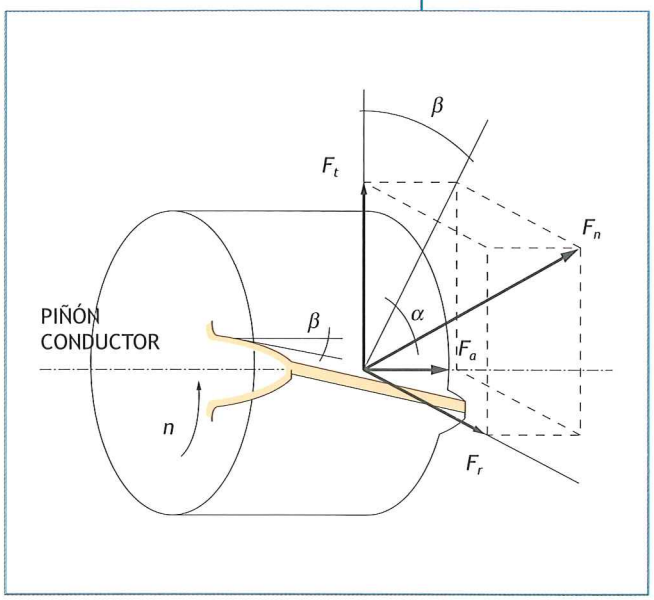


4.15. Esfuerzos axiales en un engranaje de dentado helicoidal.

Los esfuerzos generados en los engranajes helicoidales son los siguientes (figura 4.17):

- **Esfuerzo tangencial (F_t):** es el que contribuye a la transmisión de la potencia. Es opuesto al sentido de giro del piñón motriz o conductor e igual al sentido de giro del piñón conducido o accionado. Su valor se puede calcular con la siguiente expresión, siendo M_t el par a transmitir:

$$F_t = \frac{2M_t}{D_p}$$



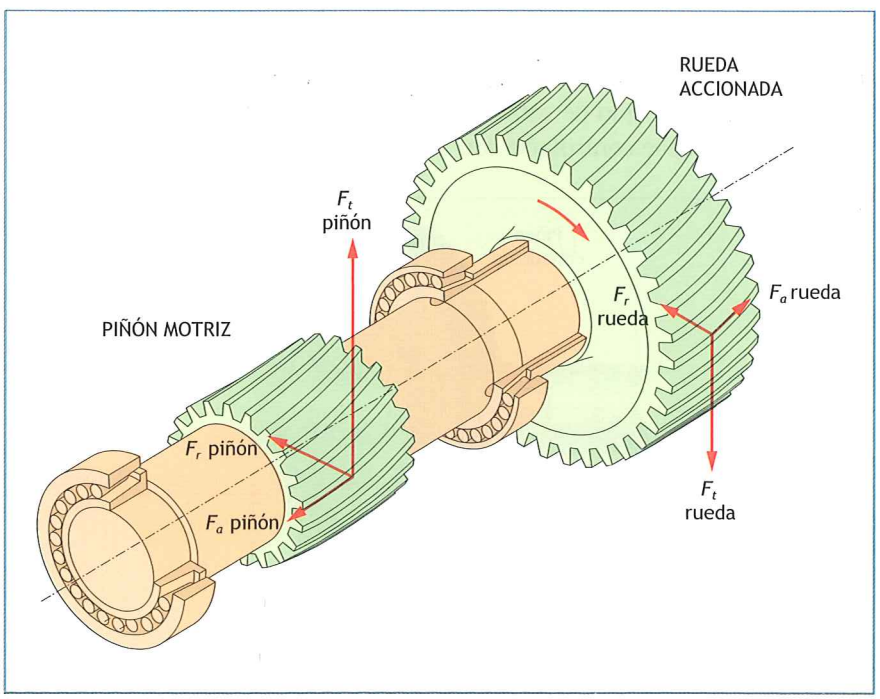
4.16. Esfuerzos generados en el piñón condutor o motriz.

- **Esfuerzo axial en árboles paralelos (F_a):** en los engranajes de dentado helicoidal se generan cargas axiales debido al sentido de la hélice del dentado y al de rotación del engranaje (piñón conductor o conducido). Este empuje axial tiende a separar los piñones que forman el engranaje y se transmite a través de los árboles soporte de los piñones a los rodamientos que soportan dichos árboles. Su valor se puede calcular con la siguiente expresión:

$$F_a = F_t \cdot \text{tg}\,(\beta)$$

  La elección de la situación de los piñones conductor y conducido y el sentido de la hélice dependerán de la dirección y situación de los rodamientos que puedan recibir el esfuerzo axial.
- **Esfuerzo radial (F_r):** el esfuerzo radial se genera en el sentido que se dirige al árbol o eje soporte:

$$F_r = \frac{F_t}{\cos\,(\beta)} \cdot \text{tg}\,(\alpha)$$

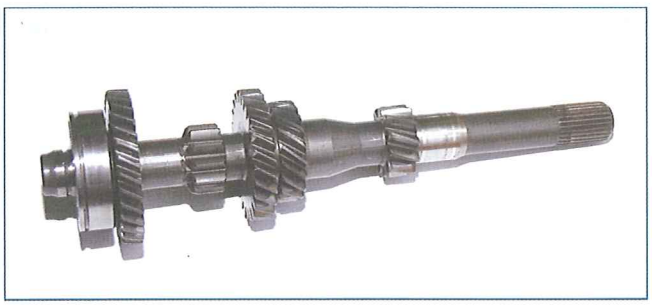


4.17. Esquema de esfuerzos en un engranaje helicoidal.

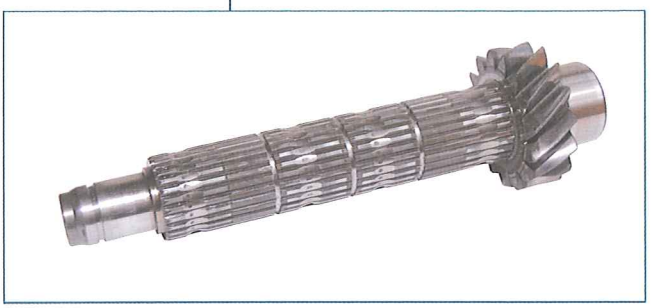
3.2 > Árboles y ejes

Un árbol es el elemento de revolución de la caja de cambios que, junto con los piñones y ruedas fijados al mismo, permite transmitir la potencia del conjunto.

Un eje de la caja de cambios es el elemento, normalmente de sección cilíndrica, que sirve de soporte a los elementos que intervienen en la cadena cinemática y que giran libres sobre él. El eje no transmite potencia ni está sometido a esfuerzos de torsión.



4.18. Árbol primario.

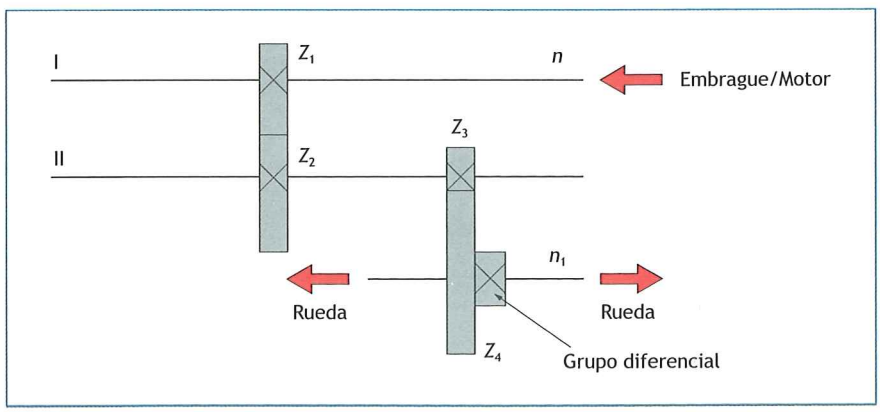


4.19. Árbol secundario.

3.3 > Representación de la cadena cinemática

Las cadenas cinemáticas se suelen representar de la siguiente manera:

- Los árboles o ejes de la cadena cinemática se representan con líneas horizontales paralelas y un número romano que indica el árbol que estas representan: «I» el primario y «II» el secundario.
- Sobre las líneas de los árboles se indican los trenes de engranajes mediante rectángulos o círculos. En su interior se indicará con una «X» si el piñón está unido de forma rígida al árbol. Si el piñón se puede deslizar sobre el árbol o eje estará señalado mediante una línea inclinada en su interior.
- Los engranajes se nombran con la letra Z (indicativa del número de dientes) y un subíndice, que para los piñones conductores será impar (Z_1, Z_3...) y para los piñones conducidos será par (Z_2, Z_4...).
- Se indicarán las revoluciones del árbol de entrada como n y las revoluciones de salida hacia las ruedas como n_1.



4.20. Representación gráfica de una cadena cinemática.

Tren de engranajes

Un tren de engranajes es un sistema formado por varios engranajes conectados entre sí.

Velocidad y marcha

Se llama **velocidad** al tren de engranajes que posibilita el normal desplazamiento hacia delante del vehículo.

Se llama **marcha** al tren de engranajes que produce el sentido contrario al de avance normal del vehículo (marcha atrás).

3.4 > Relación de transmisión

La relación de transmisión (i) entre dos o más árboles o ejes y, por consiguiente, de los trenes de engranajes que forman parte de la cadena cinemática de cada velocidad o marcha es el producto del número de dientes de los piñones conducidos dividido entre el producto del número de dientes de los piñones conductores.

La cadena cinemática de la caja de cambios mantiene la potencia (P) constante suministrada por el motor a un determinado número de revoluciones (n), transformando el par motor (M_m) en otro mayor o menor (M_r) y reduciendo o aumentando, en el mismo instante, el número de revoluciones de salida (n_1):

$$M_m \cdot n = M_r \cdot n_1$$

La relación de transmisión de cada velocidad se calcula del siguiente modo:

$$i = \frac{Z_{p.\ conducido}}{Z_{p.\ conductor}} = \frac{n}{n_1}$$

El resultado será el número de revoluciones que son necesarias a la entrada de la caja para obtener una revolución a la salida. Por ejemplo, $i = 3{,}45$ quiere decir que son necesarias 3,45 rpm de entrada para obtener 1 rpm a la salida. Para indicar esta proporción se añade «:1» a la relación de transmisión: $i = 3{,}45{:}1$.

Relación de cada velocidad

La relación de transmisión de cada una de las velocidades se indica con la letra «i» y un subíndice con el orden relativo a cada velocidad o marcha:

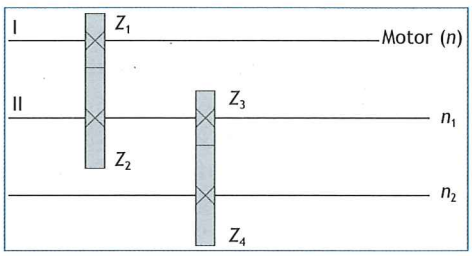
$i_{1ª}$, $i_{2ª}$, $i_{3ª}$, $i_{4ª}$...

Casos prácticos

Cálculo de la relación de transmisión y de las revoluciones de salida

•• Calcula la relación de transmisión y el número de revoluciones, tanto el total como los existentes entre los distintos árboles de la caja de cambios, de la siguiente figura a 850 rpm de motor (n):

$$Z_1 = 13,\ Z_2 = 35,\ Z_3 = 17,\ Z_4 = 66$$



Solución •• Calculamos las relaciones de transmisión y las revoluciones que se nos piden:

a) Relación de transmisión y número de rpm entre los árboles I y II:

$$i_{I \to II} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{35}{13} = 2{,}69{:}1 \qquad \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n}{n_1} \Rightarrow n_1 = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot n = \frac{13}{35} \cdot 850 = 315{,}7 \text{ rpm}$$

b) Relación de transmisión y número de rpm entre los árboles II y la salida:

$$i_{II \to salida} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{66}{17} = 3{,}88{:}1 \qquad \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{Z_3}{Z_4} \cdot n_1 = \frac{17}{66} \cdot 315{,}7 = 81{,}32 \text{ rpm}$$

c) Relación de transmisión total del conjunto de la cadena cinemática:

$$i_{I \to salida} = i_{I \to II} \cdot i_{II \to salida} = \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} = \frac{35 \cdot 66}{13 \cdot 17} = 10{,}43{:}1$$

4 >> Sincronización de las velocidades

Al cambiar de velocidad, la sincronización proporciona a la cadena cinemática de la caja de cambios una transmisión de fuerza suave y sin brusquedades entre los engranajes y sus árboles y, además, evita tener que parar el vehículo en dicha acción.

La sincronización se realiza entre el piñón libre de engranaje de cada una de las velocidades sincronizadas de la caja y el correspondiente árbol que lo sustenta, y se basa, fundamentalmente, en un embrague cónico con el que se pueden transmitir valores altos de par en un mínimo espacio y un acoplamiento de tipo frontal.

Una incorrecta sincronización puede ocasionar que sea muy complicado seleccionar la velocidad, además de graves daños en los componentes de la caja de cambios.

La sincronización debe realizarse en dos fases:

- **Igualación** de la velocidad del piñón libre con su árbol.
- **Acoplamiento** del piñón libre a su árbol para la transmisión de fuerza.

4.1 > Dispositivo de sincronización básico

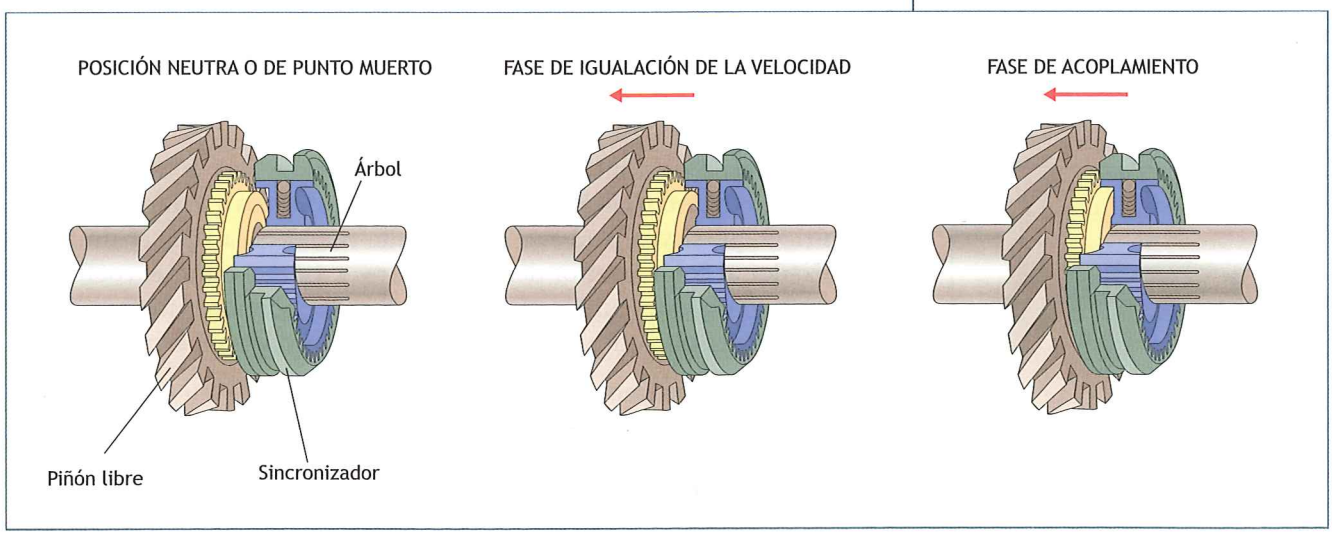
Para realizar la sincronización se utilizan **sincronizadores**, que, fijados al árbol correspondiente, se desplazan axialmente al seleccionar la velocidad y mediante su cono interior friccionan contra el cono exterior del piñón libre. Así igualan la velocidad entre el árbol y el piñón libre. Posteriormente, con su dentado interior, se acoplan al dentado de conexión del piñón libre fijando este al árbol.

Los sincronizadores se disponen entre dos piñones libres, de manera que pueden seleccionar dos velocidades en función de su posición. A estas dos posiciones hay que añadir una tercera, la neutra o de punto muerto, en la que no se conecta ninguna velocidad. Para mantenerse en esta posición utilizan un sistema de retención.

Par transmitido por un embrague cónico

$$M = F \cdot \frac{2 \cdot = \cdot (R^3 - r^3)}{3 \cdot (R^2 - r^2)}$$

M = Par transmitido
F = Fuerza de empuje
$=$ = Coeficiente de rozamiento
R = Radio mayor del cono
r = Radio menor del cono



4.21. Fases de un dispositivo de sincronización básico.

4.22. Piñón libre de un sincronizador absoluto.

4.24. Rodamiento de agujas.

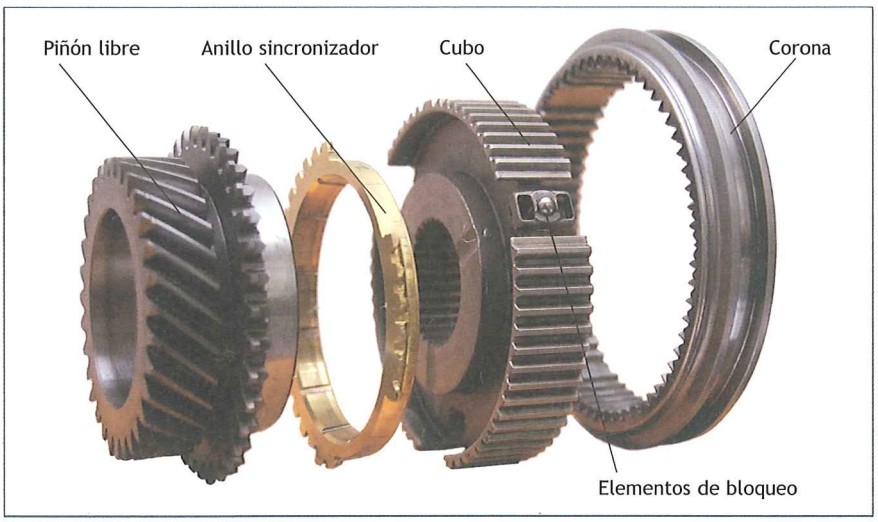
4.25. Anillo sincronizador.

4.2 > Sincronizador absoluto

Los sincronizadores absolutos son los que se emplean actualmente, porque evitan choques entre dentados o roturas en los elementos de la caja de cambios, garantizando que las fases de sincronización se cumplan en el orden establecido: primero la sincronización de la velocidad y luego el acoplamiento del piñón libre a su árbol. Además disponen de un anillo sincronizador postizo.

El piñón libre (figura 4.22) del engranaje de cada velocidad está unido en toma constante con su dentado helicoidal al piñón fijo. Gira libre sobre el eje que le sustenta, generalmente mediante rodamiento de agujas (figura 4.24), y dispone de una superficie cónica exterior (cono macho) y un dentado de conexión para engranar con el dentado de la corona del sincronizador.

Los elementos que componen un sincronizador absoluto son:



4.23. Partes de un sincronizador absoluto.

Anillo sincronizador

Es el elemento del conjunto sincronizador que tiene como misión igualar la velocidad, por fricción, que se da entre el árbol y el piñón libre y, una vez hecho esto, permitir el acoplamiento de la corona con el dentado de conexión.

Su superficie cónica interior es la zona de fricción. Está dotada de un ranurado circunferencial, interrumpido por unos surcos a lo largo de las generatrices que sirven para evacuar el aceite cuando se acopla el anillo sincronizador al cono exterior del piñón libre, y así aumentar el coeficiente de rozamiento entre ambas superficies. Esto proporciona una igualación de velocidades más eficaz y sin deslizamiento (fricción en seco).

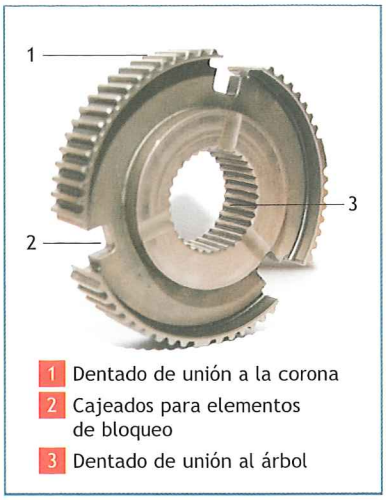
Los anillos sincronizadores no permisivos (positivos) llevan un dentado en su periferia del mismo módulo que el dentado de conexión del piñón libre, lo que impide el choque del dispositivo de sincronización con el dentado de conexión en su desplazamiento axial. Se evita de este modo pasar a la segunda fase de la sincronización sin haber realizado la primera fase de igualación de la velocidad (sincronización).

La nueva generación de anillos sincronizadores incorpora pastillas de fricción integradas que disminuyen el peso de los anillos, aumentan su flexibilidad y reducen el revestimiento de fricción. Estos anillos, en lugar de tener adherido el material de fricción a toda la superficie, poseen pequeñas porciones de dicho material en forma de pastillas, guiadas y encajadas en la superficie del anillo (ver revista de electromecánica de la Unidad 5).

Cubo de arrastre o buje

Es el elemento que, fijado al árbol, sustenta la corona del dispositivo de sincronización y transmite la fuerza desde el piñón libre del engranaje a dicho árbol.

El cubo de arrastre dispone de un orificio interior ranurado para unirse al árbol, de un dentado exterior por donde se desplaza la corona axialmente y, normalmente, de tres cajeados decalados a 120° para albergar los dispositivos de retención de la corona en punto muerto.



4.26. Cubo de arrastre.

Corona

La corona es el elemento encargado de transmitir al dispositivo de sincronización la selección de velocidad que lleva a cabo el conductor del vehículo.

En su desplazamiento axial sobre el cubo de arrastre, la corona proporciona la fuerza directamente a los elementos de bloqueo para que el anillo de sincronización friccione con el cono exterior del piñón libre y se efectúe la primera fase de la sincronización. A continuación, su dentado interior engrana con el dentado del anillo sincronizador y el dentado de conexión del piñón libre. De esta manera queda fijada la rueda libre al árbol mediante el cubo de arrastre e insertada la velocidad correspondiente.

La corona dispone de una garganta exterior donde se encaja la horquilla del sistema de mando interno de la caja de cambios, de un dentado interior para desplazarse sobre el cubo de arrastre y acoplarse al dentado de conexión del piñón libre, y de unos cajeados interiores para que los elementos de bloqueo la retengan en la posición central o de punto muerto.

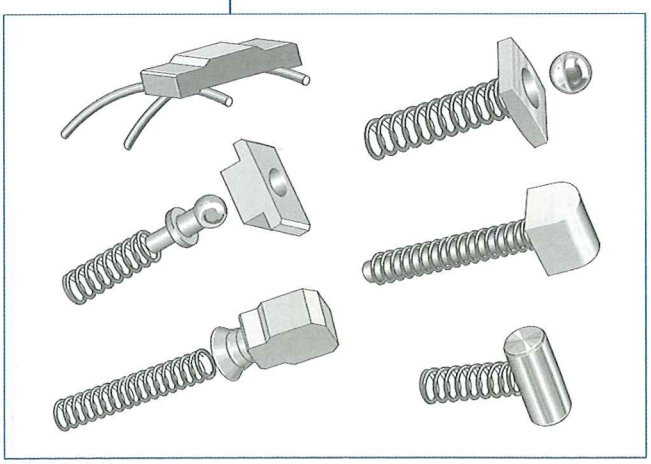
4.27. Corona.

Elementos de retención o bloqueo

Son los elementos que, situados en los cajeados del cubo de arrastre o en su interior a modo de resortes, posicionan en punto muerto la corona, gracias a los cajeados de la misma. También evitan que la corona pueda hacer contacto con el dentado de conexión del piñón libre antes de producirse la primera fase de la sincronización.

Su función es clave en el dispositivo de sincronización y deben ser resistentes al desgaste para poder funcionar adecuadamente.

Algunos sincronizadores no utilizan elementos de retención independientes, sino que son los propios resortes elásticos alojados en los laterales del cubo los que afloran por los cajeados del mismo y se encajan en la parte interior de la corona.



4.28. Elementos de bloqueo.

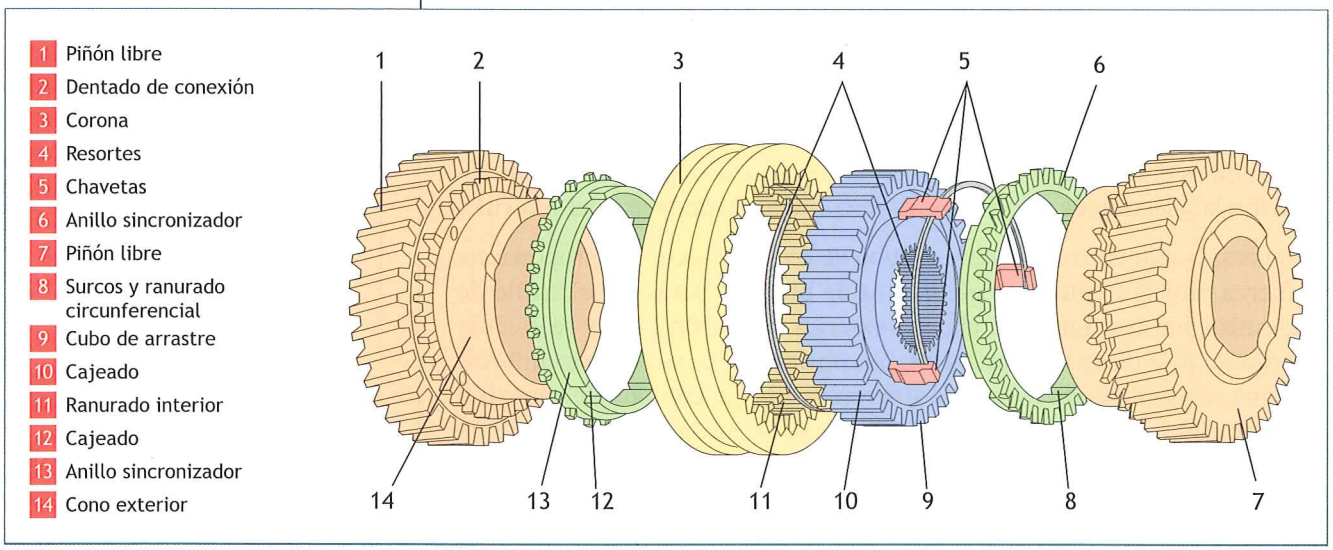
5 >> Tipos de sincronizadores

Existen en el mercado diferentes tipos de sincronizadores, absolutos y no absolutos, que cumplen la misma función pero difieren en el número y la forma de los elementos anteriormente estudiados. Los más característicos son:

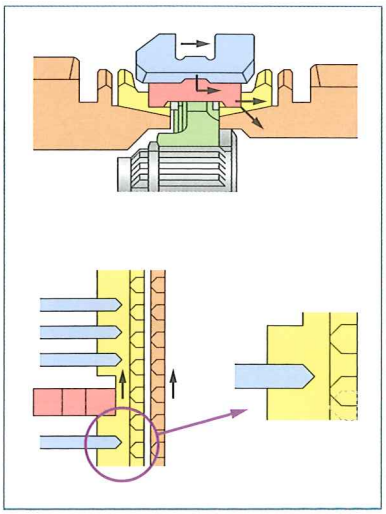
- Sincronizador sencillo (Borg Warner).
- Sincronizador de triple cono.
- Sincronizador New Process.
- Sincronizador de anillo elástico (tipo Porsche).

5.1 > Sincronizador sencillo (Borg Warner)

Los sincronizadores Borg Warner se componen de los siguientes elementos:



4.29. Partes del sicronizador Borg Warner.



4.30. Toma de contacto de un sincronizador sencillo.

Funcionamiento del sincronizador sencillo

Cuando se desplaza la corona, las tres chavetas, posicionadas a 120° en los cajeados del cubo de arrastre, ejercen presión contra ella por medio de la fuerza de los resortes circulares; regulan el desplazamiento axial del anillo sincronizador hasta que hace contacto con el cono exterior del piñón libre y se retraen cuando se realiza el acoplamiento. Estas chavetas tienen una anchura inferior a la de los anillos sincronizadores, donde están siempre introducidas, de tal forma que permiten el desplazamiento relativo de dichos anillos medio diente hacia cada lado con respecto a la corona (interdicción). De esta forma impiden que los anillos se acoplen con la rueda libre antes de la sincronización.

Así, las fases de funcionamiento del sincronizador son:

- **Toma de contacto** (figura 4.30). Al mover la palanca de cambios para insertar una velocidad, la corona se desplaza hacia el piñón libre del tren de engranajes correspondiente. En su desplazamiento axial, arrastra las chavetas, que ejercen presión contra ella mediante los resortes. El extremo de las chavetas se desplaza y estas presionan el anillo sincronizador contra el cono exterior de la rueda libre.

- **Fase de sincronización** (figura 4.31). Si las velocidades del piñón libre y de la corona son diferentes, en el anillo sincronizador surge un par de fricción que facilitará la igualación de dichas velocidades. Hasta que estas no se igualen, las puntas oblicuas del dentado del anillo sincronizador se mantienen apoyadas con fuerza contra las puntas oblicuas del dentado interno de la corona, lo que frena el desplazamiento axial de la misma (interdicción) y su consiguiente engranaje con el dentado de conexión del piñón libre.
- **Fase de acoplamiento** (figura 4.32). Una vez igualadas las velocidades del piñón libre y de la corona, desaparece el par de fricción en el anillo sincronizador, lo que facilita que este pueda girar libremente sobre el cono exterior de la rueda libre. De esta forma, el dentado de la corona, en su desplazamiento axial, posiciona el dentado del anillo de manera que se pueda acoplar al piñón libre. Así se quedará seleccionada la velocidad correspondiente.

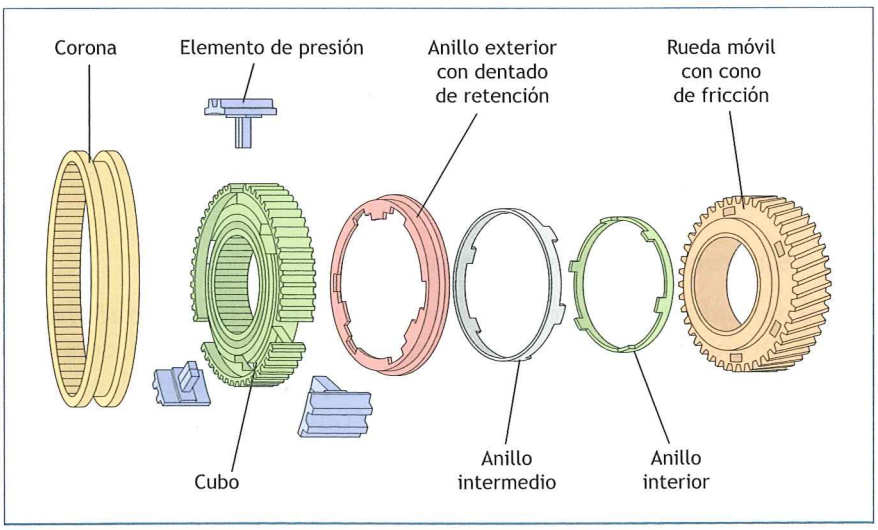
Todo el proceso anterior se invierte al seleccionar el conductor el punto muerto, pues la corona retrocede, se liberan los dentados y el piñón queda libre en el árbol.

5.2 > Sincronizador de triple cono

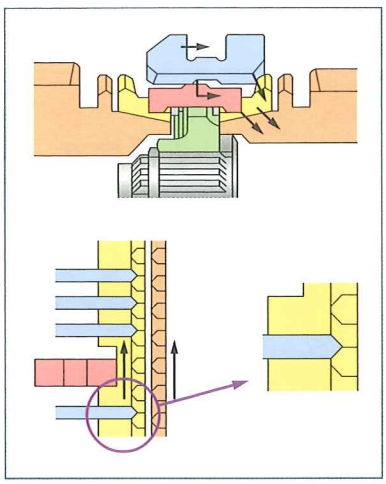
En las cajas de cambios actuales, con altas solicitaciones de par, para evitar el desgaste prematuro de las superficies de fricción de los anillos sincronizadores, en las velocidades primera y segunda se utilizan los llamados sincronizadores de triple cono.

Estos sincronizadores prácticamente duplican la superficie total de fricción, aumentan la capacidad de sincronización casi un 50% y reducen el esfuerzo necesario para realizar el cambio de velocidad, mejorando el confort de marcha, principalmente en las reducciones de velocidades de tercera a segunda y de segunda a primera.

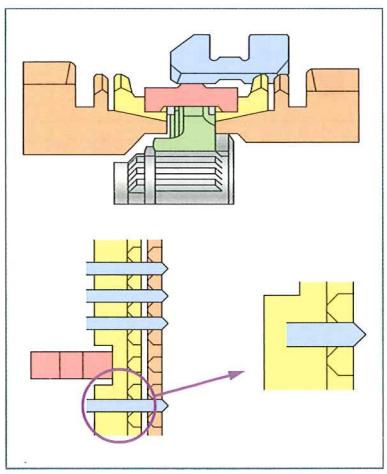
Los sincronizadores de triple cono constan de los elementos indicados en la siguiente figura:



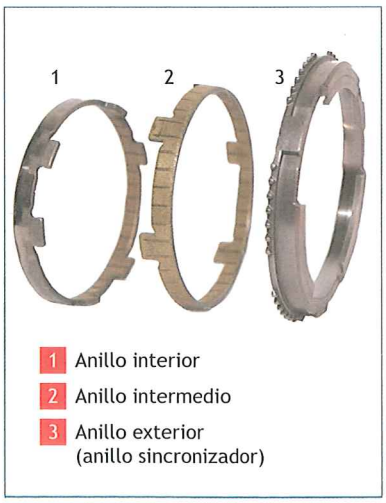
4.33. Partes del sincronizador de triple cono.



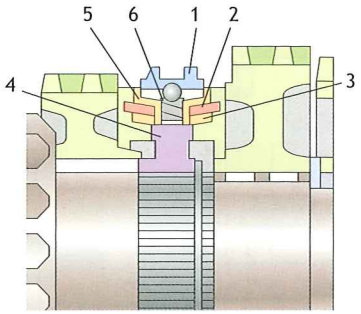
4.31. Fase de sincronización de un sincronizador sencillo.



4.32. Fase de acoplamiento de un sincronizador sencillo.



4.34. Anillos sincronizadores de triple cono.



1. Corona
2. Anillo intermedio
3. Anillo interior
4. Cubo de arrastre
5. Anillo exterior con dentado de retención
6. Elemento de presión

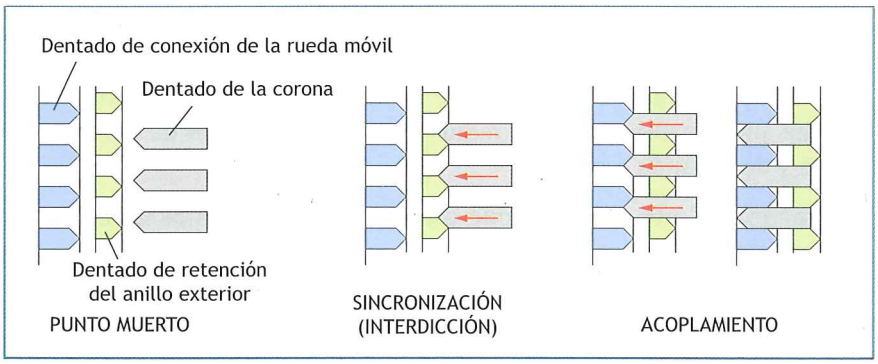
4.35. Sección de un sincronizador de triple cono.

4.37. Piñón libre de un sincronizador New Process.

Funcionamiento del sincronizador de triple cono

Las fases de funcionamiento de este sincronizador son (figura 4.36):

- **Posición de punto muerto.** En esta posición la corona se encuentra en la posición neutra fijada por los elementos de presión. Los anillos sincronizadores están separados y los piñones libres no están fijadas al árbol, por lo que no hay transmisión de movimiento a la salida de la caja de cambios.
- **Fase de sincronización.** El conductor selecciona la velocidad y la corona se desplaza axialmente hacia el piñón libre, empujando los anillos sincronizadores. Las superficies de los anillos friccionan entre sí y con el cono exterior del piñón libre y, de este modo, comienza la sincronización de la velocidad del árbol y dicho piñón libre. La fricción existente hace que el anillo exterior con dentado de retención efectúe un giro de aproximadamente medio diente (interdicción), lo que evita que la corona pueda seguir desplazándose y que entre en contacto con el dentado de conexión del piñón libre.
- **Fase de acoplamiento.** Cuando se igualan las velocidades del árbol y del piñón libre, desaparece el par de fricción en el conjunto, lo que permite el desplazamiento relativo del anillo exterior. La corona hace que este anillo retroceda hasta su posición inicial, forzado por el biselado de los dientes. Desaparece así el bloqueo y la corona puede desplazarse en sentido axial hasta entrar en contacto y engranar con el dentado exterior del piñón libre. De esta forma, se produce el acoplamiento entre el árbol y el piñón libre.



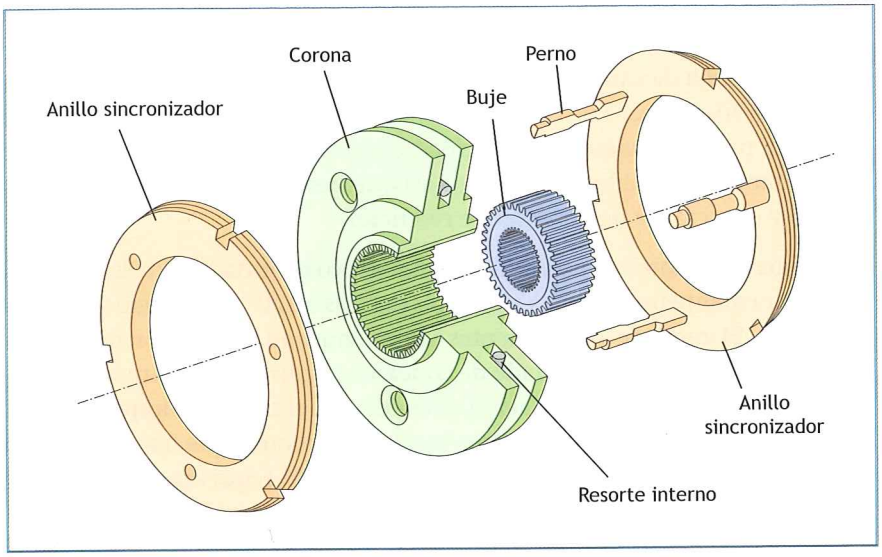
4.36. Fases de funcionamiento de un sincronizador de triple cono.

El proceso inverso llevará al conjunto sincronizador y a la caja de cambios a la posición de punto muerto.

5.3 > Sincronizador New Process

El sincronizador New Process dispone de **dos anillos sincronizadores** (figura 4.39) unidos entre sí por **tres pernos** de diámetro desigual, decalados 120° con un chaflán en su parte central. Los **piñones libres** (figura 4.37) disponen de un dentado de conexión y una campana que hace la función de cono interior de sincronización. Sobre los pernos se desplaza axialmente la corona y queda retenida en la posición central de punto muerto por la acción del resorte interno contra una ranura en «V» que poseen dichos pernos en su parte inferior.

Los sincronizadores New Process constan de los siguientes elementos:



4.38. Partes del sincronizador New Process.

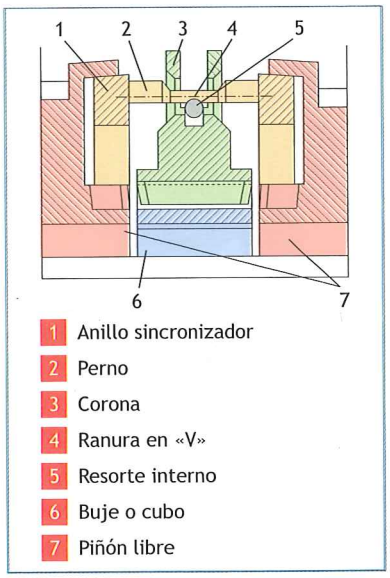
4.39. Anillos sincronizadores de un sincronizador New Process.

Funcionamiento del sincronizador New Process

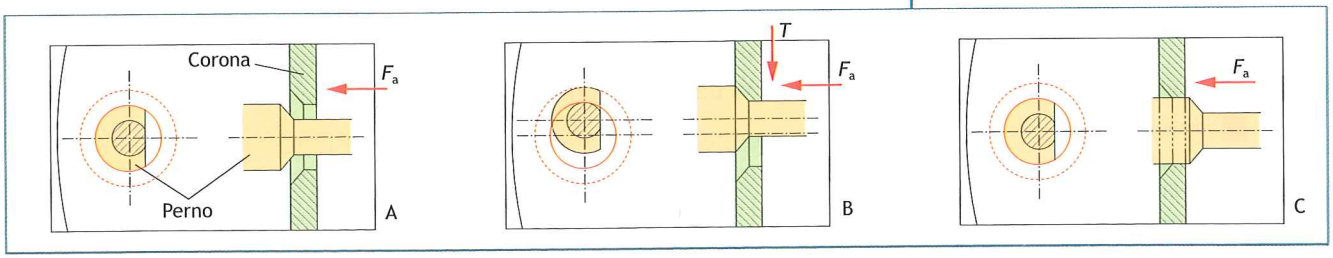
Fase de sincronización. Al seleccionar la velocidad, la corona, con la presión que ejerce el resorte interno sobre los pernos, desplaza al anillo sincronizador con una fuerza axial (F_a) hacia la campana del piñón libre de la velocidad correspondiente (figura 4.41A). En ese momento, las superficies de sincronización entran en fricción.

Debido a que las velocidades de giro de los elementos del anillo sincronizador y de la corona son diferentes, la fricción entre ambos origina una fuerza tangencial (T) que hace que los pernos se desvíen de su centrado con respecto a los orificios de la corona. Esto ocasiona que la corona no pueda seguir avanzando en sentido axial (figura 4.41B) y que se acople al dentado de conexión del piñón libre antes de producirse la sincronización de velocidad.

Fase de acoplamiento. Una vez igualadas las velocidades del anillo sincronizador y el piñón libre en la fase de sincronización, desaparece la fuerza tangencial (T). Al desaparecer esta fuerza, los pernos son guiados por la corona, mediante su desplazamiento por fuerza axial (F_a), para coincidir centrados con los orificios correspondientes, y la corona llega a engranarse con el dentado de conexión del piñón libre correspondiente, produciéndose el acoplamiento (figura 4.41C).



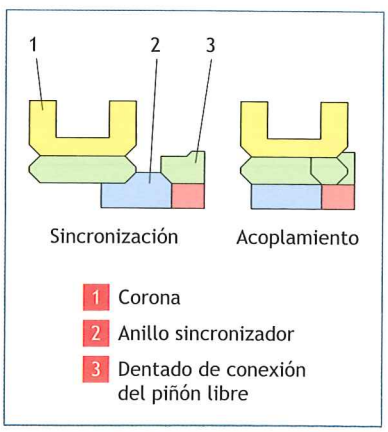
4.40. Sección de un sincronizador New Process.



4.41. Fases de funcionamiento de un sincronizador New Process.

4.42. Manguito guía de un sincronizador de anillo elástico.

4.43. Dentado de conexión del piñón libre de un sincronizador de anillo elástico.

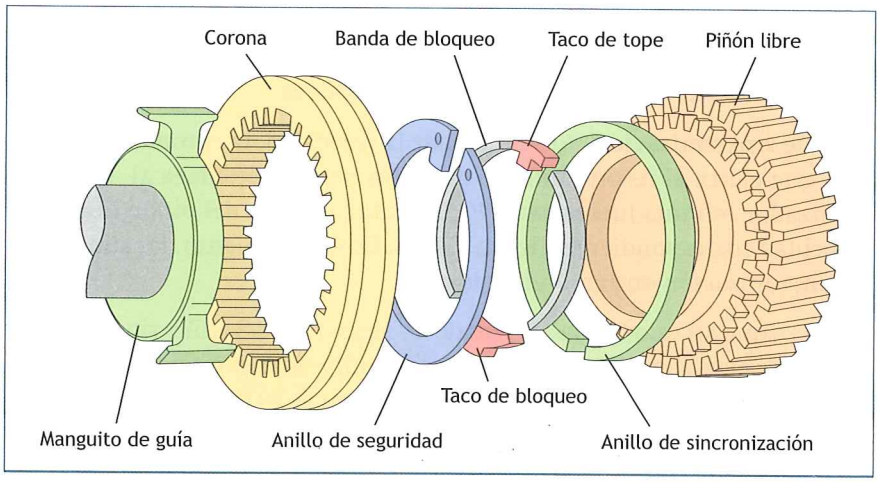


4.45. Fases de funcionamiento de un sincronizador de anillo elástico.

5.4 > Sincronizador de anillo elástico (tipo Porsche)

Por la forma reducida de la configuración de sus componentes, el uso de sincronizadores de anillo elástico permite una disminución de las dimensiones de la caja de cambios, además de aportar una sincronización rápida y bastante silenciosa. Por el contrario, aumenta la fuerza en la horquilla necesaria para seleccionar la velocidad correspondiente y no se les puede considerar sincronizadores absolutos, ya que tienen el anillo sincronizador abierto y este carece de dentado de retención.

Estos sincronizadores disponen de un **manguito de guía** (figura 4.42) unido al árbol mediante una chaveta y con tres patillas a 120°, por donde se desliza la corona. El resto de componentes se integran en el interior del **piñón libre**, que dispone de un dentado de conexión (figura 4.43). Entre los dos extremos del anillo de sincronización se encuentra el **taco de bloqueo** y en el interior de dicho anillo se sitúan dos bandas de bloqueo que hacen contacto por sus extremos con el **taco de tope**. El **anillo de seguridad** mantiene el anillo de sincronización en su posición dentro del piñón libre.



4.44. Partes del sincronizador elástico.

Funcionamiento del sincronizador de anillo elástico

Al seleccionar la velocidad correspondiente, la corona se desplaza sobre el manguito guía y sus dientes hacen contacto con el anillo sincronizador. Al tener la corona menor diámetro, aprieta y oprime el anillo sincronizador, de lo que surge un par de fricción entre ambos elementos que hace que el anillo sincronizador se desplazace en rotación arrastrando el taco de bloqueo y este la banda de bloqueo. La banda de bloqueo queda frenada en el desplazamiento por el taco de tope, lo que obliga a la misma a curvarse y hace que el anillo sincronizador se abra por la presión del contacto, lo que frena el desplazamiento axial de la corona.

Una vez se igualan las velocidades del piñón libre y del árbol, desaparece el par de fricción y la tensión interna del conjunto. Así la corona puede oprimir al anillo sincronizador y seguir su desplazamiento axial hasta hacer contacto con el dentado de conexión del piñón libre y producirse el acoplamiento con el árbol.

6 >> Tipos de cajas de cambios

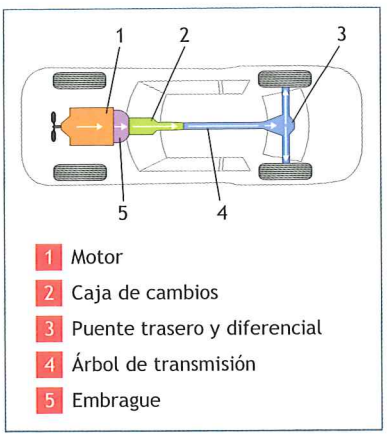
Las cajas de cambios, teniendo en cuenta la disposición de los mecanismos que se emplean para variar la relación de transmisión, así como el número de velocidades, se clasifican del siguiente modo:

- Cajas de cambios con secundario a contraeje.
- Cajas de cambios con secundario de reenvío fijo.
- Cajas de cambios de dos árboles secundarios.

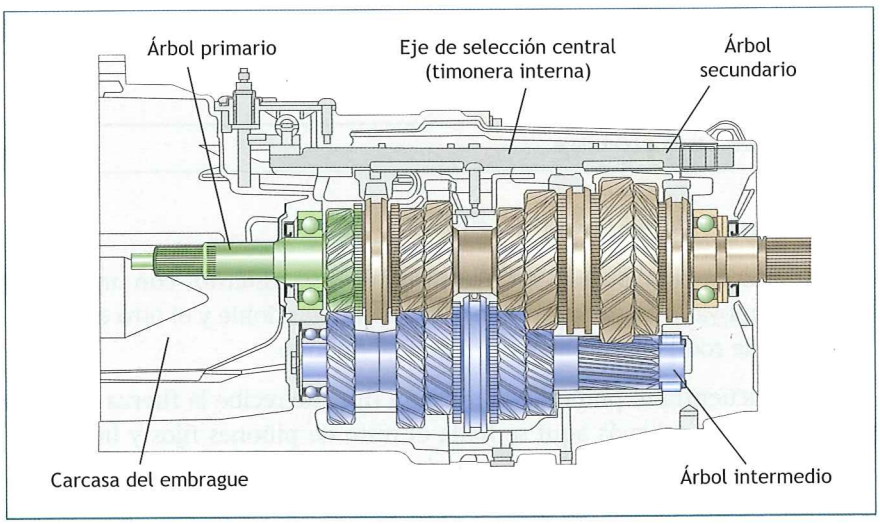
6.1 > Caja de cambios con secundario a contraeje

Es la caja utilizada en los vehículos de propulsión con disposición de motor en montaje longitudinal (figura 4.46).

Está formada por un árbol primario que recibe la fuerza del motor a través del disco del embrague y, con el piñón de la relación fija, transmite la fuerza al árbol intermedio o intermediario (contraeje) y de este al árbol secundario, con salida a través del árbol de transmisión longitudinal al puente trasero/diferencial y a las ruedas. Los piñones libres se distribuyen entre el árbol secundario y el árbol intermedio. En las cajas de seis velocidades, la 5ª velocidad es directa en unión del árbol primario y el árbol secundario.



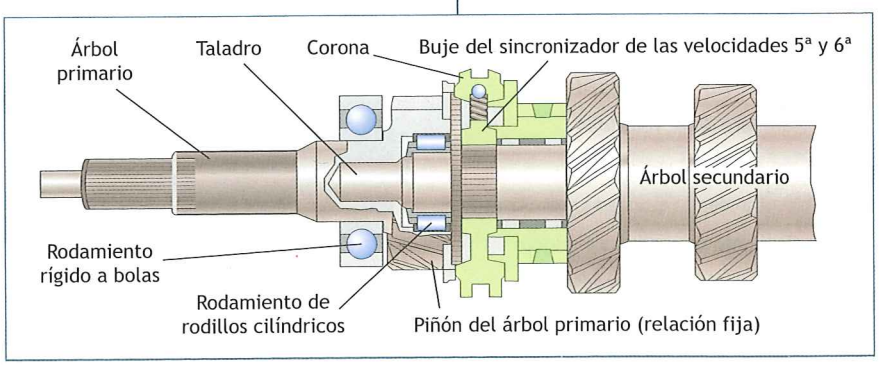
4.46. Configuración para propulsión con motor en montaje longitudinal.



4.47. Constitución de la caja de cambios con secundario a contraeje.

Árbol primario

Va alojado en la carcasa del embrague, generalmente sobre un rodamiento a bolas rígido y el correspondiente retén. Dispone de un taladro central donde se aloja un rodamiento de rodillos o agujas que sirve de soporte flotante al árbol secundario. Soporta el piñón del tren de engranajes de la relación fija, que transmite la fuerza al árbol intermedio.



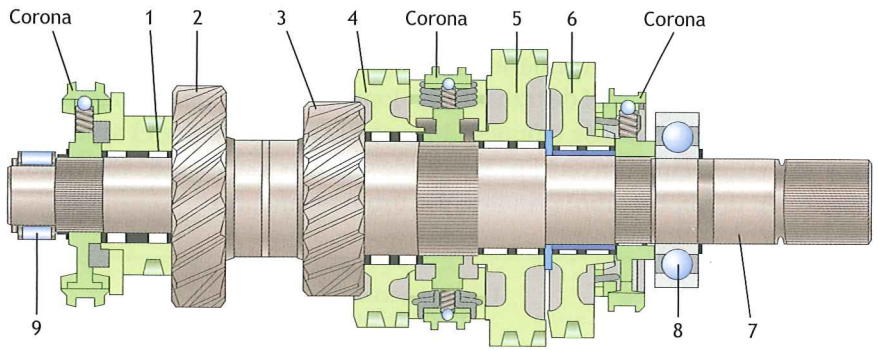
4.48. Partes del árbol primario en una caja de cambios con secundario a contraeje.

Árbol secundario

Está situado a continuación del árbol primario. Uno de sus extremos se encuentra en el interior del árbol primario, apoyado en un rodamiento de rodillos, y el otro se apoya en otro rodamiento en la carcasa del cambio. Dispone de piñones fijos y libres en función de la configuración diseñada por el fabricante. Esta alternancia de piñones en el árbol secundario contribuye a poder reducir su longitud.

Todos los piñones de este árbol están en toma constante con los piñones del árbol intermedio y giran al mismo tiempo. Cuando se selecciona una velocidad, el correspondiente piñón libre se hace solidario al árbol secundario mediante el acoplamiento de la corona del sincronizador.

1. Piñón libre de 6ª velocidad
2. Piñón fijo de 3ª velocidad
3. Piñón fijo de 4ª velocidad
4. Piñón libre de 2ª velocidad
5. Piñón libre de 1ª velocidad
6. Piñón libre de marcha atrás
7. Árbol secundario
8. Rodamiento rígido a bolas
9. Rodamiento de rodillos cilíndricos



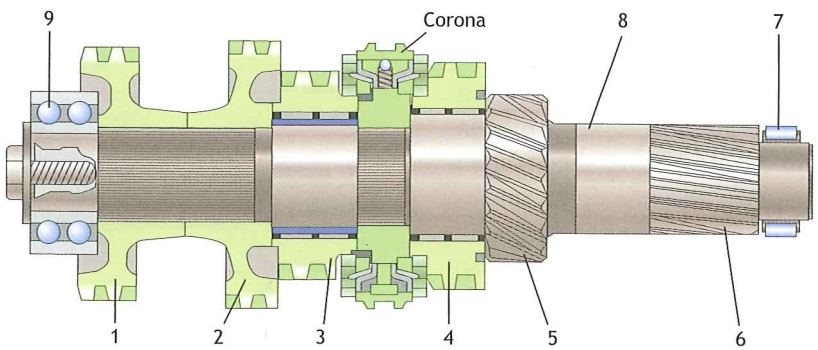
4.49. Partes del árbol secundario en una caja de cambios con secundario a contraeje.

Árbol intermedio (contraeje)

Está situado en paralelo a los árboles primario y secundario, con uno de sus extremos apoyado en un rodamiento rígido a bolas doble y el otro en un rodamiento de rodillos cilíndricos en montaje flotante.

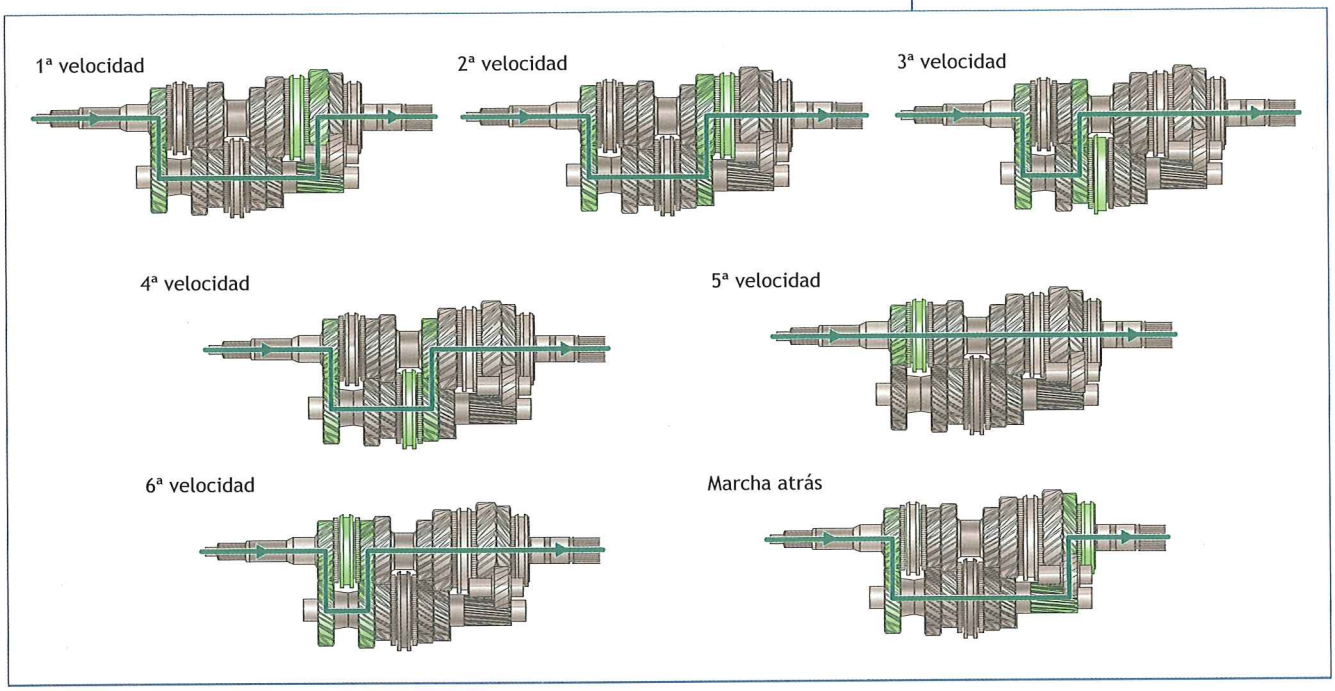
En él se encuentra el piñón de la relación fija que recibe la fuerza desde el árbol primario. Además aquí se halla el resto de piñones fijos y libres que forman parte de los trenes de engranajes de las velocidades de la caja y que están en toma constante con los piñones del árbol secundario.

1. Piñón (relación fija)
2. Piñón fijo de 6ª velocidad
3. Piñón libre de 3ª velocidad
4. Piñón libre de 4ª velocidad
5. Piñón fijo de 2ª velocidad
6. Piñón fijo de 1ª velocidad y marcha atrás
7. Rodamiento de rodillos cilíndricos
8. Contraeje (árbol intermedio)
9. Rodamiento doble a bolas



4.50. Partes del árbol intermedio (contraeje) en una caja de cambios con secundario a contraeje.

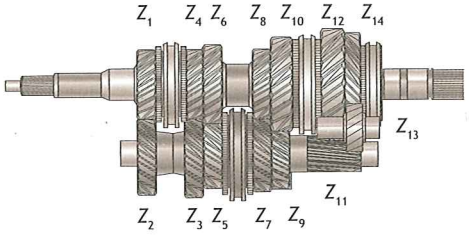
Cadena cinemática de seis velocidades y marcha atrás



4.51. Cadena cinemática de las seis velocidades y la marcha atrás de una caja de cambios con secundario a contraeje.

Técnica

Cálculo de relaciones de transmisión



•• Cálculo de las relaciones de transmisión a la salida de una caja de seis velocidades con secundario a contraeje cuyos piñones tienen los siguientes números de dientes:

$Z_1 = 31$ $Z_3 = 49$ $Z_5 = 31$ $Z_7 = 37$ $Z_9 = 23$ $Z_{11} = 13$ $Z_{13} = 23$

$Z_2 = 41$ $Z_4 = 31$ $Z_6 = 37$ $Z_8 = 34$ $Z_{10} = 44$ $Z_{12} = 46$ $Z_{14} = 42$

Para realizar el cálculo se tendrán en cuenta los piñones de la relación fija y la relación del tren de engranajes de cada velocidad, excepto para el cálculo de la 5ª velocidad, que es una relación directa. De esta forma, la relación de transmisión para cada velocidad vendrá dada por la siguiente expresión:

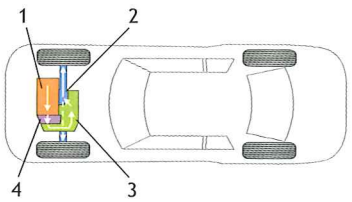
$$i = i_{fija} \cdot i_{velocidad} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{p.\ conducido}}{Z_{p.\ conductor}}$$

De esta forma, tenemos que las relaciones de transmisión son:

$$i_{1ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{12}}{Z_{11}} = \frac{41}{31} \cdot \frac{46}{13} = 4{,}68{:}1 \qquad i_{2ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{10}}{Z_9} = \frac{41}{31} \cdot \frac{44}{23} = 2{,}53{:}1 \qquad i_{3ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_6}{Z_5} = \frac{41}{31} \cdot \frac{37}{31} = 1{,}579{:}1$$

$$i_{4ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_8}{Z_7} = \frac{41}{31} \cdot \frac{37}{37} = 1{,}215{:}1 \qquad i_{5ª} = 1{:}1 \qquad i_{6ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{41}{31} \cdot \frac{31}{49} = 0{,}837{:}1$$

$$i_{marcha\ atrás} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{13}}{Z_{11}} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{13}} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{11}} = \frac{41}{31} \cdot \frac{42}{13} = 4{,}273{:}1$$

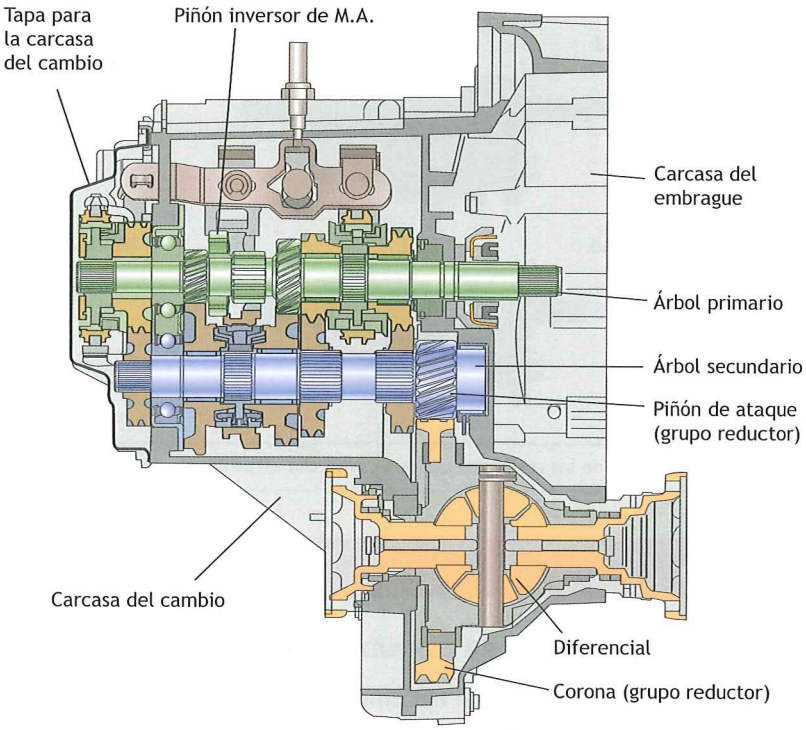


1. Motor
2. Semiárbol de transmisión
3. Caja de cambios
4. Embrague

4.52. Configuración para tracción, con motor en montaje transversal.

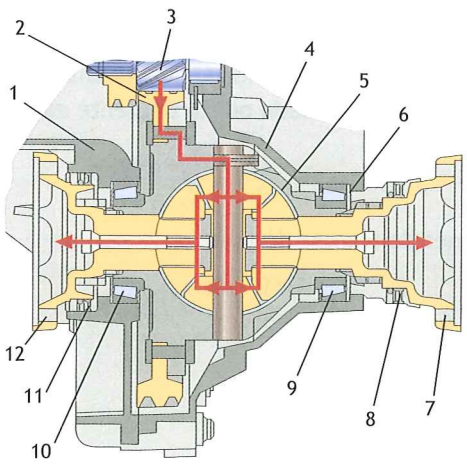
6.2 > Caja de cambios con secundario de reenvío fijo

Es el cambio utilizado en los vehículos de tracción delantera con el motor en montaje transversal (figura 4.52). Dispone de dos árboles: el primario, que recibe la fuerza del motor a través del disco del embrague, y el secundario, montado en paralelo y acoplado al árbol primario mediante los engranajes de las respectivas velocidades.



4.53. Constitución de la caja de cambios con secundario de reenvío fijo.

1. Carcasa del cambio
2. Corona del grupo reductor
3. Piñón de ataque del grupo reductor
4. Carcasa del embrague
5. Carcasa del diferencial
6. Arandela de ajuste del juego axial
7. Árbol abridado derecho
8. Retén
9. Rodamiento de rodillos cónicos
10. Rodamiento de rodillos cónicos
11. Retén
12. Árbol abridado izquierdo



4.54. Grupo reductor y diferencial de un cambio con secundario de reenvío fijo.

La salida de la fuerza por el árbol secundario se realiza mediante el grupo reductor en acoplamiento paralelo de un piñón de ataque y una corona (reenvío fijo), normalmente de engranajes cilíndricos de dentado helicoidal. Este engranaje proporciona una desmultiplicación del número de revoluciones y, por consiguiente, un aumento del par motor para todas las velocidades.

La corona del grupo reductor soporta el conjunto diferencial, donde los árboles abridados dan salida a través de los semiárboles de transmisión del movimiento a las ruedas.

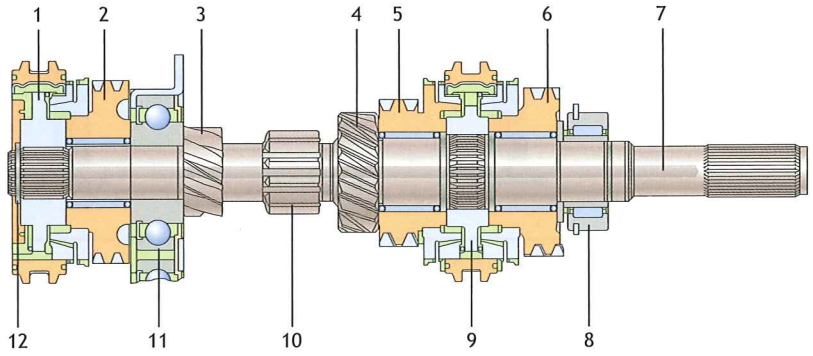
Árbol primario

Transmite la fuerza proporcionada por el disco del embrague al interior de la caja de cambios. Se encuentra situado entre la carcasa del embrague, situada sobre un rodamiento de rodillos cilíndricos, y la carcasa del cambio, apoyada sobre un rodamiento rígido a bolas.

Para reducir la longitud de la caja se alternan piñones fijos, solidarios al propio árbol, y piñones libres sustentados sobre el árbol por interposición de unos rodamientos de agujas.

La fijación de los componentes del árbol en sus diferentes posiciones se realiza mediante su inserción en los extremos de un anillo de seguridad.

También se le suele practicar un taladro interior longitudinal con el fin de reducir la masa del árbol.

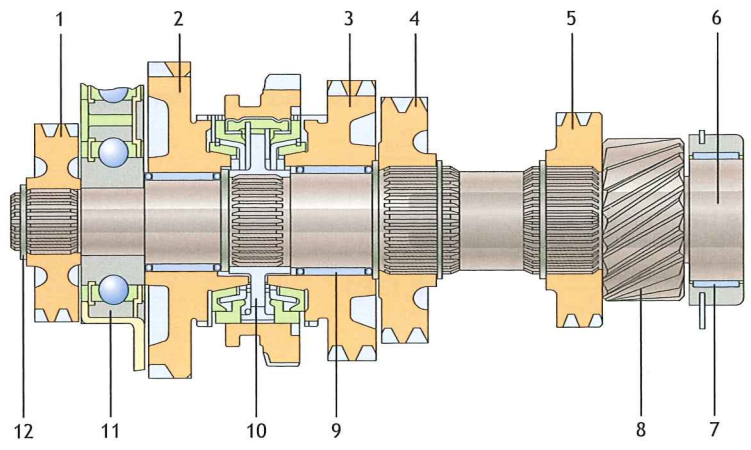


1. Buje del sincronizador de 5ª velocidad
2. Piñón libre de 5ª velocidad
3. Piñón fijo de 1ª velocidad
4. Piñón fijo de 2ª velocidad
5. Piñón libre de 3ª velocidad
6. Piñón libre de 4ª velocidad
7. Taladro para reducción de masas
8. Rodamiento de rodillos cilíndricos (rodamiento flotante)
9. Buje del sincronizador de las velocidades 3ª y 4ª
10. Piñón fijo de M.A.
11. Rodamiento rígido a bolas
12. Anillo de seguridad

4.55. Partes del árbol primario en una caja de cambios con secundario de reenvío fijo.

Árbol secundario

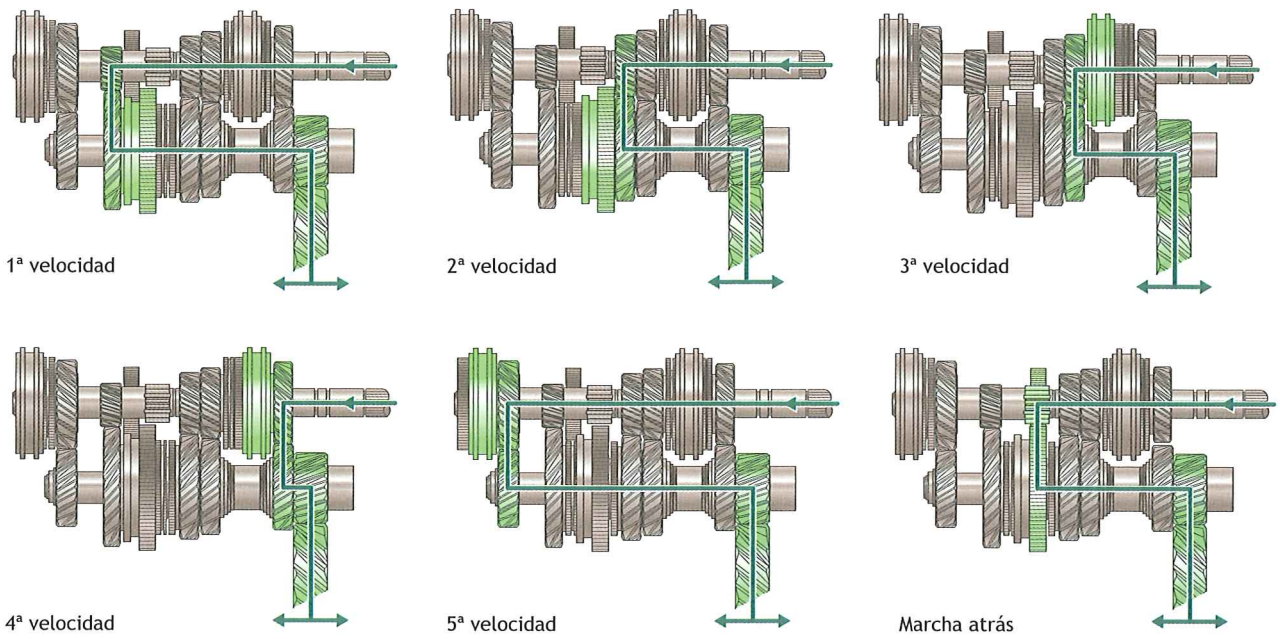
Está posicionado en paralelo al árbol primario, entre la carcasa del embrague y la carcasa del cambio, sobre los correspondientes rodamientos. Su estructura es similar a la del árbol primario.



1. Piñón fijo de 5ª velocidad
2. Piñón libre de 1ª velocidad
3. Piñón libre de 2ª velocidad
4. Piñón fijo de 3ª velocidad
5. Piñón fijo de 4ª velocidad
6. Orificio longitudinal para reducción de masas
7. Rodamiento flotante de rodillos cilíndricos
8. Piñón de ataque del grupo reductor
9. Rodamiento de agujas
10. Buje del sincronizador de las velocidades 1ª y 2ª
11. Rodamiento rígido a bolas
12. Anillo de seguridad

4.56. Partes del árbol secundario en una caja de cambios con secundario de reenvío fijo.

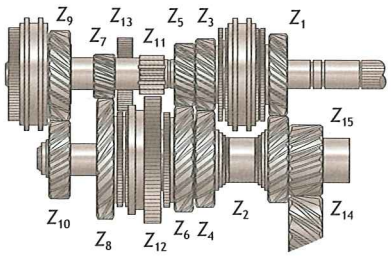
Cadena cinemática de cinco velocidades y marcha atrás



4.57. Cadena cinemática de las cinco velocidades y la marcha atrás de una caja de cambios con secundario de reenvío fijo.

Técnica

Cálculo de relaciones de transmisión



•• Cálculo de las relaciones de transmisión a la salida de una caja de cinco velocidades con secundario de reenvío fijo cuyos piñones tienen los siguientes dientes:

$Z_1 = 11$	$Z_4 = 44$	$Z_7 = 39$	$Z_{10} = 39$	$Z_{13} = 24$
$Z_2 = 38$	$Z_5 = 31$	$Z_8 = 40$	$Z_{11} = 11$	$Z_{14} = 17$
$Z_3 = 21$	$Z_6 = 43$	$Z_9 = 48$	$Z_{12} = 35$	$Z_{15} = 66$

Para el cálculo se tendrán en cuenta la relación del tren de engranajes de cada velocidad y la relación del grupo reductor. De esta forma, la relación de transmisión de cada velocidad vendrá dada por la siguiente expresión:

$$i = i_{\text{velocidad}} \cdot i_{\text{grupo reductor}} = \frac{Z_{\text{p. conducido}}}{Z_{\text{p. conductor}}} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}}$$

De esta forma, tenemos que las relaciones de transmisión son:

$$i_{1ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{38}{11} \cdot \frac{66}{17} = 13{,}412{:}1$$

$$i_{2ª} = \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{44}{21} \cdot \frac{66}{17} = 8{,}132{:}1$$

$$i_{3ª} = \frac{Z_6}{Z_5} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{43}{31} \cdot \frac{66}{17} = 5{,}384{:}1$$

$$i_{4ª} = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{40}{39} \cdot \frac{66}{17} = 3{,}982{:}1$$

$$i_{5ª} = \frac{Z_{10}}{Z_9} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{30}{48} \cdot \frac{66}{17} = 3{,}156{:}1$$

$$i_{\text{marcha atrás}} = \frac{Z_{13}}{Z_{11}} \cdot \frac{Z_{12}}{Z_{13}} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{Z_{12}}{Z_{11}} \cdot \frac{Z_{14}}{Z_{15}} = \frac{35}{11} \cdot \frac{66}{17} = 12{,}352{:}1$$

6.3 > Caja de cambios para montaje longitudinal

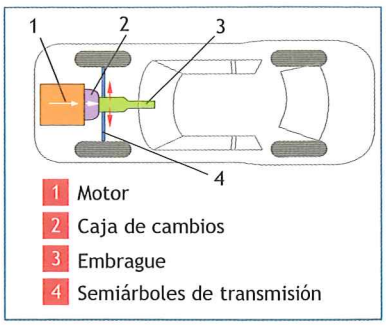
Es el cambio utilizado en vehículos de tracción directa a las ruedas con motor en posición longitudinal y tracción delantera o propulsión trasera. Dispone de dos árboles montados en paralelo: un árbol primario que recibe la fuerza del motor a través del disco del embrague y un árbol secundario acoplado, mediante los engranajes de las respectivas velocidades, al árbol primario.

La salida de fuerza del árbol secundario se realiza a través del grupo reductor, con acoplamiento hipoide entre el piñón de ataque y la corona (reenvío fijo) de forma cónica y de dentado helicoidal. Esto proporciona una desmultiplicación que genera un aumento del par motor para todas las velocidades.

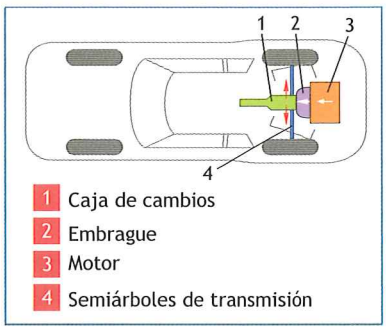
El acoplamiento hipoide entre el piñón de ataque y la corona del grupo reductor se realiza un poco por encima o por debajo del eje del centro de geometría de la corona, para conseguir:

- Aumentar la robustez del piñón.
- Aumentar la superficie de contacto entre los dientes.
- Aumentar la transmisión de par.
- Reducir los esfuerzos.

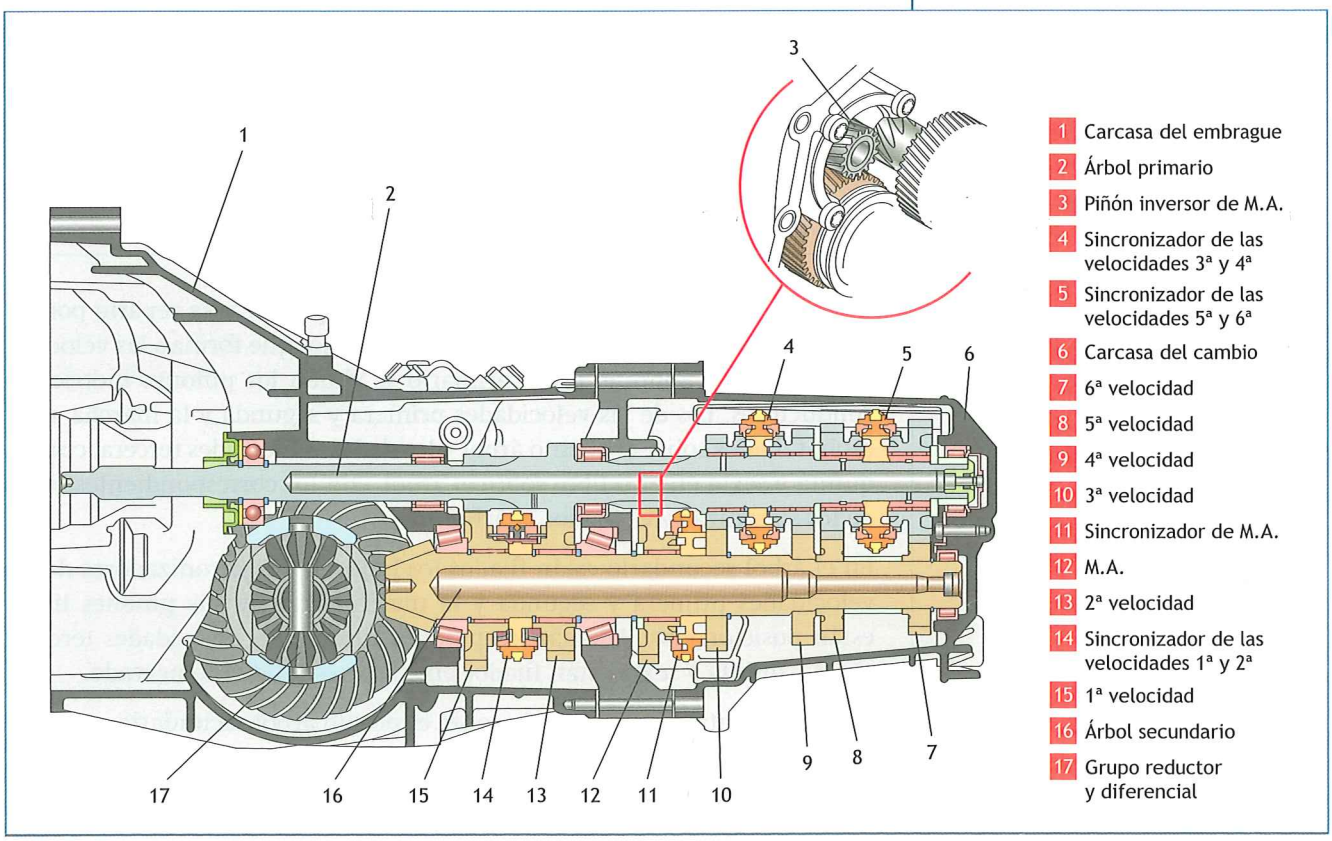
La corona del grupo reductor soporta el conjunto diferencial, donde se insertan los semiárboles que transmiten el movimiento a las ruedas.



4.58. Configuración para tracción con motor en montaje longitudinal.

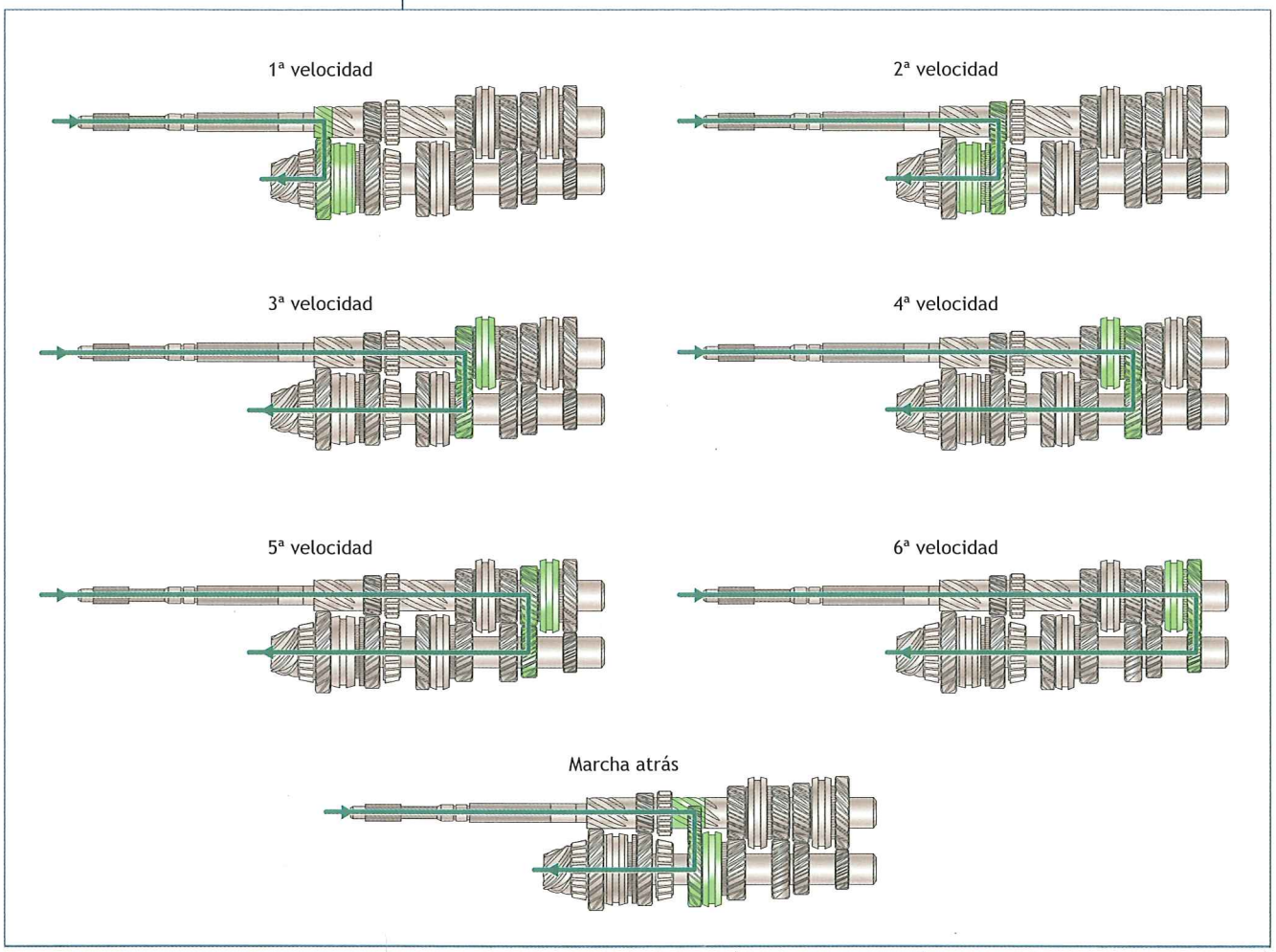


4.59. Configuración para propulsión con motor en montaje longitudinal.



4.60. Constitución de la caja de cambios para montaje longitudinal.

Cadena cinemática de seis velocidades y marcha atrás



4.61. Cadena cinemática de las seis velocidades y la marcha atrás de una caja de cambios para montaje longitudinal.

El par de giro del motor transmitido al árbol primario se reparte por los diferentes piñones de cada uno de los engranajes que forman las velocidades de la caja. Sobre el árbol primario se sitúan los piñones motrices o conductores. Los de las velocidades primera y segunda y la marcha atrás están tallados sobre el mismo árbol y los de las velocidades tercera, cuarta, quinta y sexta en giro libre sobre el árbol, con los correspondientes bujes de los sicronizadores fijados al árbol.

En el árbol secundario están fijados los bujes de los sicronizadores de las velocidades primera y segunda y la marcha atrás, y sus piñones libres están posicionados. Además los piñones fijos de las velocidades tercera, cuarta, quinta y sexta están fijados en su correspondiente nervado.

El piñón de ataque está tallado sobre el propio árbol secundario.

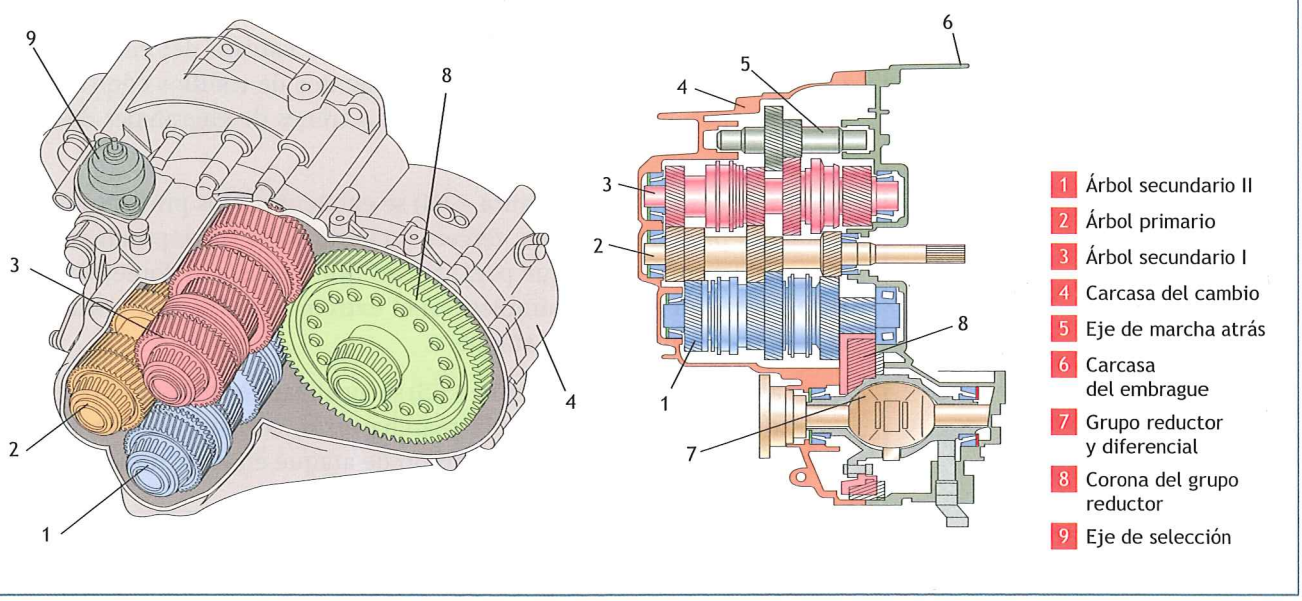
Estas cajas disponen de todas las velocidades sincronizadas, y se utilizan dos tipos de sincronizadores: sencillo y de triple cono. Los sincronizadores sencillos se utilizan para las velocidades 3ª, 4ª, 5ª, 6ª y la marcha atrás. Los sincronizadores de triple cono se utilizan en las velocidades de 1ª y 2ª.

6.4 > Caja de cambios de dos árboles secundarios

Las actuales normas anticontaminación y la necesidad de reducir el consumo de combustible requieren incorporar en el automóvil nuevas tecnologías en lo que a cajas de cambios se refiere. Se buscan por ello cambios en los que no solo se aumente el número de relaciones, sino que también se haga un perfecto escalonamiento de las mismas para poder aprovechar al máximo el par proporcionado por el motor, de lo que deriva una reducción del consumo y, por consiguiente, de la emisión contaminante y del impacto medioambiental.

Si, para cumplir los requisitos anteriores, se incorporarán más velocidades a un cambio, se añadirían más piñones y con un solo árbol secundario aumentaría mucho la longitud del conjunto, por lo que resultaría más complejo configurar una ubicación para la caja con el motor en montaje transversal. Sin embargo, disponiendo los piñones de los engranajes sobre dos árboles secundarios se consigue reducir la longitud de la caja de cambios, de manera que se puede instalar en los vehículos con la configuración de tracción delantera y motor transversal.

El tipo de transmisión de fuerzas que se produce con esta disposición se denomina transmisión de flujo de fuerzas cruzado.

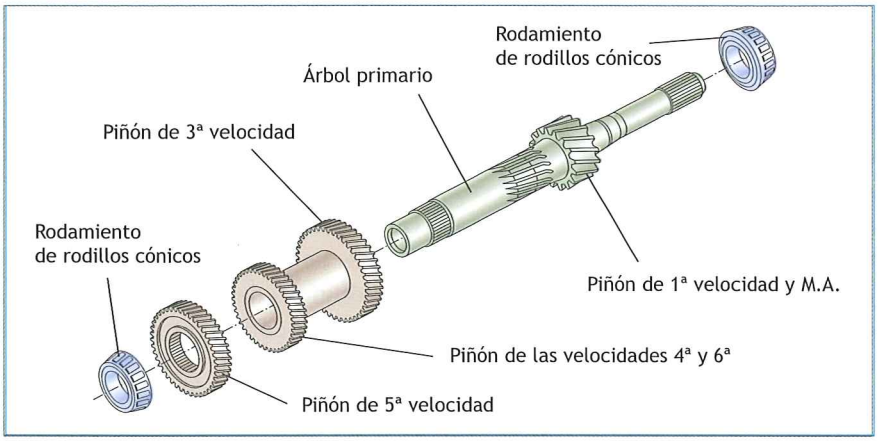


4.62. Constitución de la caja de cambios de dos árboles secundarios.

Las cajas de cambios con dos árboles secundarios disponen de una configuración clásica de la carcasa del embrague y la carcasa del cambio para albergar los componentes de la caja. Sus componentes principales son un árbol primario y dos árboles secundarios. Además, cuentan con un piñón de ataque en cada árbol secundario, para configurar una reducción diferente con la corona del grupo reductor, un eje para la marcha atrás, un grupo diferencial y la correspondiente timonería interna, para poder seleccionar las distintas relaciones.

Árbol primario

El árbol primario sirve de entrada a la fuerza suministrada por el motor, está apoyado sobre la carcasa del embrague y del cambio en los correspondientes rodamientos, generalmente de rodillos cónicos. Sobre él se encuentran los piñones fijos de los distintos engranajes, unos labrados en el mismo árbol y otros fijados a él.



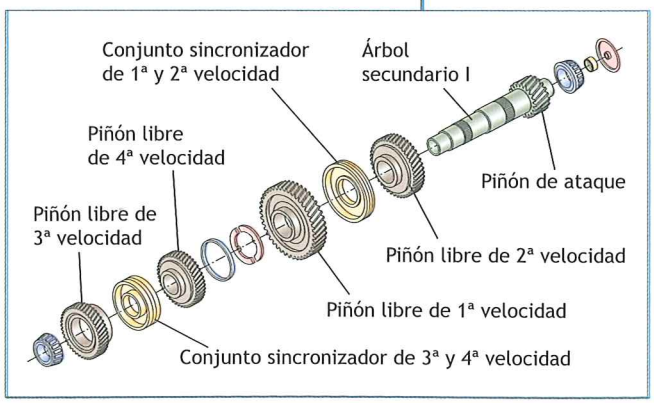
4.63. Árbol primario de una caja con dos árboles secundarios.

Árboles secundarios

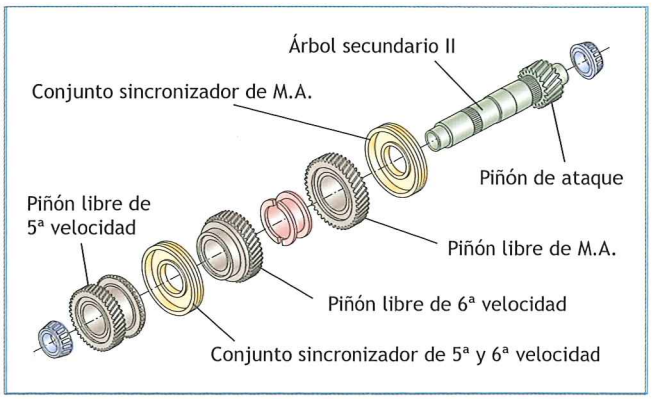
Los árboles secundarios se disponen entre la carcasa del embrague y la carcasa del cambio, apoyados en rodamientos de rodillos cónicos. Sobre ellos se reparten los piñones libres de los trenes de engranajes de las distintas velocidades.

En el árbol secundario I (figura 4.64) se encuentran los piñones de las velocidades primera, segunda, tercera y cuarta y los correspondientes conjuntos sincronizadores, que para las tres primeras serán dobles o triples y para las restantes serán simples. En el extremo del árbol se encuentra el correspondiente piñón de ataque.

En el árbol secundario II (figura 4.65) se localizan los piñones libres de las velocidades quinta y sexta y la marcha atrás, con sus correspondientes conjuntos sincronizadores y un piñón de ataque en el extremo.

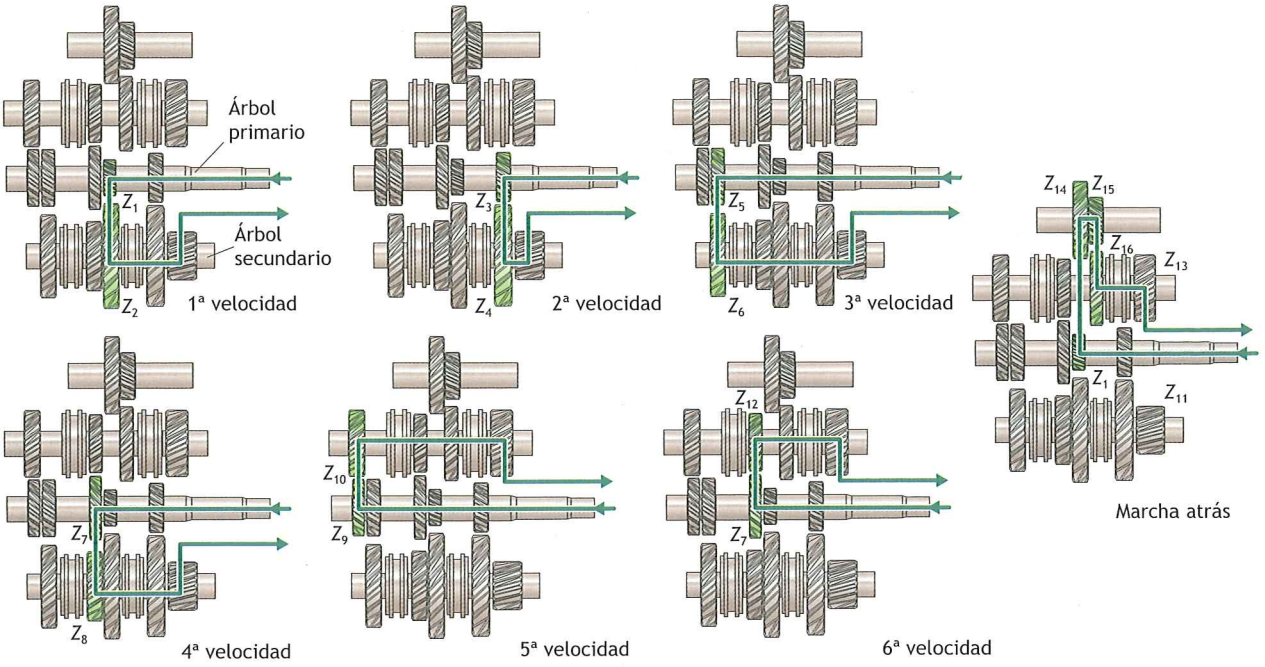


4.64. Árbol secundario I de una caja con dos árboles secundarios.



4.65. Árbol secundario II de una caja con dos árboles secundarios.

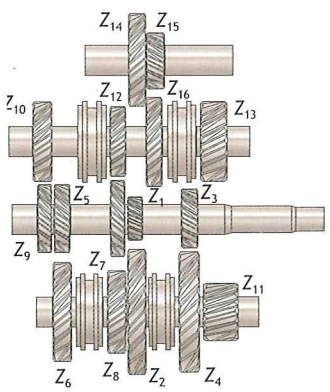
Cadena cinemática de seis velocidades y marcha atrás



4.66. Cadena cinemática de las seis velocidades y la marcha atrás de una caja de cambios con dos árboles secundarios.

Técnica

Cálculo de relaciones de transmisión



•• Cálculo de las relaciones de transmisión a la salida de una caja de seis velocidades con dos árboles secundarios cuyos piñones tienen los siguientes dientes:

$Z_1 = 13$	$Z_4 = 48$	$Z_7 = 43$	$Z_{10} = 39$	$Z_{13} = 24$	$Z_{16} = 14$
$Z_2 = 49$	$Z_5 = 34$	$Z_8 = 42$	$Z_{11} = 19$	$Z_{14} = 23$	$Z_{18} = 70$
$Z_3 = 23$	$Z_6 = 45$	$Z_9 = 40$	$Z_{12} = 35$	$Z_{15} = 14$	

Para realizar el cálculo se tendrá en cuenta la relación del tren de engranajes de cada velocidad y la relación del grupo reductor de salida de cada árbol secundario. Así, la relación de transmisión de cada velocidad vendrá dada por la expresión:

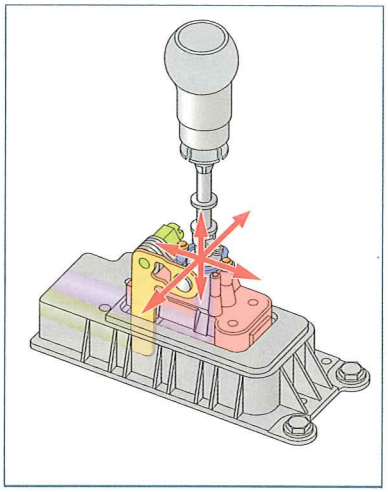
$$i = i_{\text{velocidad}} \cdot i_{\text{grupo reductor}} = \frac{Z_{\text{p. conducido}}}{Z_{\text{p. conductor}}} \cdot \frac{Z_{\text{corona}}}{Z_{\text{piñón}}}$$

De esta forma, tenemos que las relaciones de transmisión son:

$$i_{1ª} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{11}} = \frac{49}{13} \cdot \frac{70}{19} = 13{,}884{:}1 \qquad i_{2ª} = \frac{Z_4}{Z_3} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{11}} = \frac{48}{23} \cdot \frac{70}{19} = 7{,}688{:}1 \qquad i_{3ª} = \frac{Z_6}{Z_5} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{11}} = \frac{45}{34} \cdot \frac{70}{19} = 4{,}877{:}1$$

$$i_{4ª} = \frac{Z_8}{Z_7} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{11}} = \frac{42}{43} \cdot \frac{70}{19} = 3{,}599{:}1 \qquad i_{5ª} = \frac{Z_{10}}{Z_9} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{13}} = \frac{39}{40} \cdot \frac{70}{24} = 2{,}844{:}1 \qquad i_{6ª} = \frac{Z_{12}}{Z_7} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{13}} = \frac{35}{43} \cdot \frac{70}{24} = 2{,}374{:}1$$

$$i_{\text{marcha atrás}} = \frac{Z_{14}}{Z_1} \cdot \frac{Z_{16}}{Z_{15}} \cdot \frac{Z_{18}}{Z_{13}} = \frac{23}{13} \cdot \frac{36}{14} \cdot \frac{70}{24} = 13{,}269{:}1$$



4.67. Palanca de cambios.

7 >> Selección de las velocidades en las cajas manuales

Para seleccionar una velocidad en la caja de cambios manual es necesario que esta disponga de un mecanismo externo y otro interno.

7.1 > Mecanismo externo

Los elementos de este mecanismo dependen del tipo de caja que se utilice y de dónde esté situada en el vehículo.

Palanca de cambios

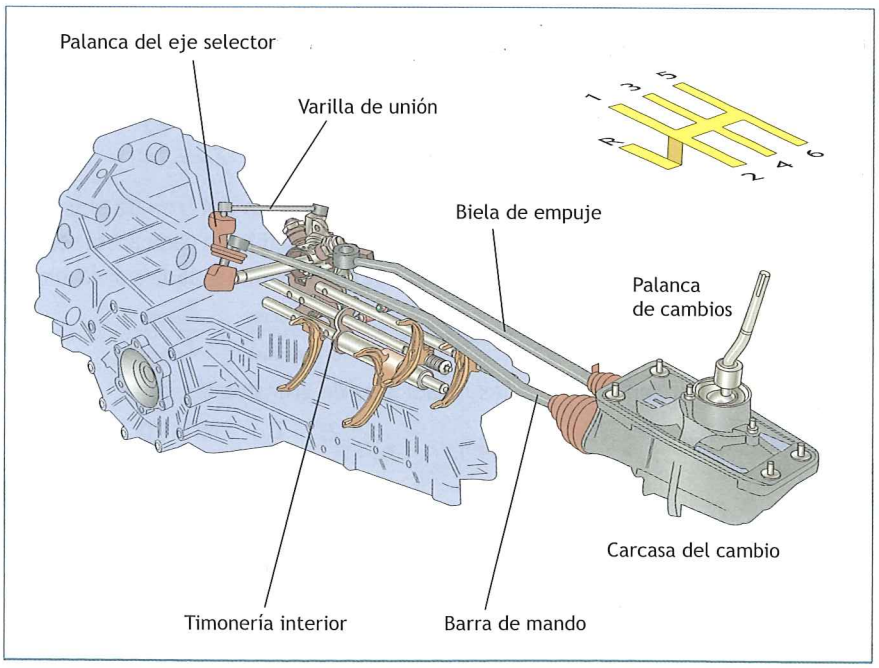
La palanca de cambios está ubicada en una carcasa que le permite realizar movimientos con entera libertad. Además, está acoplada a un mecanismo que transforma los movimientos que realiza el conductor al accionar la palanca en movimientos de empuje y de tracción a la entrada de la caja de cambios.

Los movimientos de la palanca hacia la derecha o la izquierda sirven para seleccionar las velocidades y los movimientos hacia delante o hacia atrás sirven para acoplarlas.

Mecanismo de mando rígido

Las cajas de cambios en montaje longitudinal pueden carecer de un sistema de mando externo, ya que la palanca de cambios emerge directamente de la propia caja.

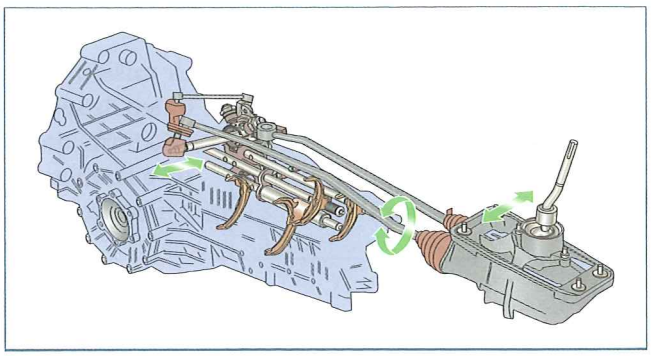
En otros casos, sin embargo, se dispone de un mecanismo de mando rígido formado por la palanca de cambios, una barra de mando, una biela de empuje, una varilla de unión y la palanca del eje selector.



4.68. Mecanismo de mando rígido.

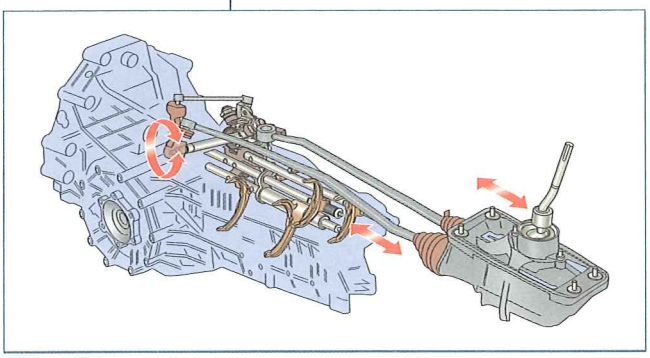
La barra de mando está unida por uno de sus extremos a la palanca de cambios y por el otro a la palanca del eje selector. La biela de empuje y la varilla de unión se utilizan para que los movimientos de selección y acoplamiento de las velocidades sean más precisos y para evitar que los movimientos que pueda sufrir la caja de cambios se trasmitan a la palanca de cambios.

Con este mecanismo, el **movimiento de selección** (cuando la palanca es movida hacia la derecha o la izquierda) se transforma en un movimiento giratorio de la barra de mando, que lo convierte a su vez en un movimiento axial del eje selector (figura 4.69).



4.69. Movimiento de selección.

Por otro lado, el **movimiento de acoplamiento** (cuando la palanca es movida hacia delante o hacia atrás) se transforma en un movimiento longitudinal de la barra de mando que da lugar a un giro del eje selector. Este último movimiento hace que la horquilla de mando seleccionada desplace la corona del conjunto sincronizador correspondiente (figura 4.70).



4.70. Movimiento de acoplamiento.

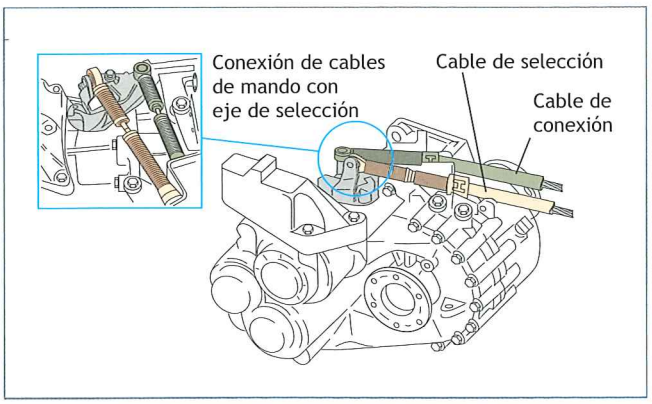
Mecanismo de mando por cables

Este tipo de mecanismo está formado por la palanca de cambios, dos cables de mando y la timonería de conexión

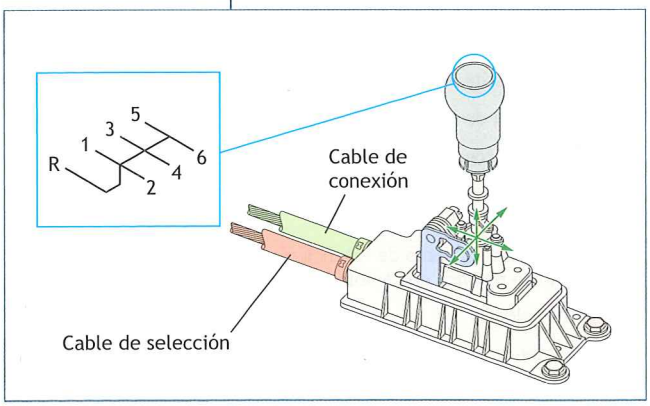
Los movimientos que efectúa el conductor sobre la palanca de cambios se transmiten hasta la caja mediante la utilización de dos cables bowden; uno de ellos transmite los movimientos de selección y el otro los de conexión o acoplamiento.

En la caja de cambios se unen los extremos de los cables con el eje selector de velocidades a través de una timonería. Esta transforma los movimientos de selección y conexión en movimientos axiales y circulares del eje de selección, necesarios para seleccionar las velocidades.

Al utilizar un sistema de cables se reducen las vibraciones y los ruidos originados por el movimiento de los elementos mecánicos. Además, este mecanismo requiere un menor mantenimiento.



4.71. Eje de selección en un mecanismo de mando por cable.

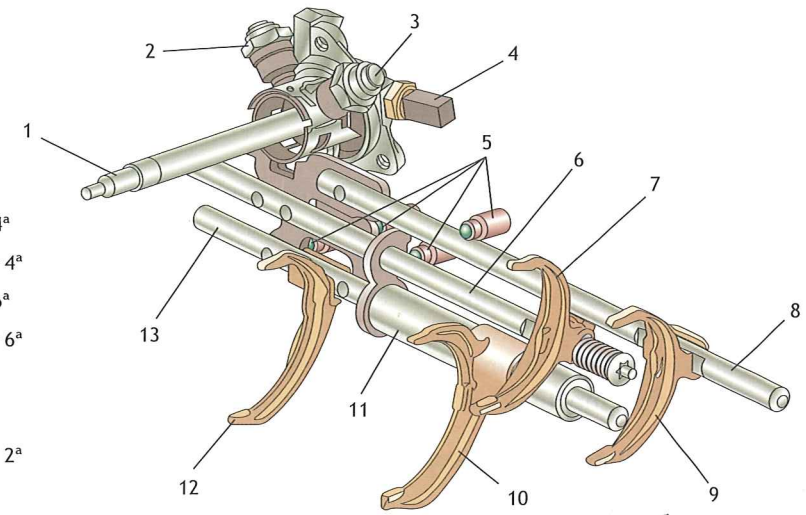


4.72. Mecanismo de la palanca de cambios por cables.

7.2 > Mecanismo interno

La misión del mecanismo interno en la caja de cambios es transmitir la orden de selección de velocidad al conjunto sincronizador. Este mecanismo está formado, básicamente, por el eje de selección, las horquillas de mando para la sincronización, las varillas desplazables y los elementos de retención y bloqueo.

1. Eje selector
2. Casquillo de fijación
3. Casquillo de fijación
4. Conmutador para luz de M.A.
5. Casquillos de encastre
6. Varilla desplazable para las velocidades 3ª y 4ª
7. Horquilla de selección de las velocidades 3ª y 4ª
8. Varilla desplazable para las velocidades 5ª y 6ª
9. Horquilla de selección de las velocidades 5ª y 6ª
10. Horquilla de selección de M.A.
11. Varilla desplazable de M.A.
12. Horquilla de selección de las velocidades 1ª y 2ª
13. Varilla desplazable de las velocidades 1ª y 2ª

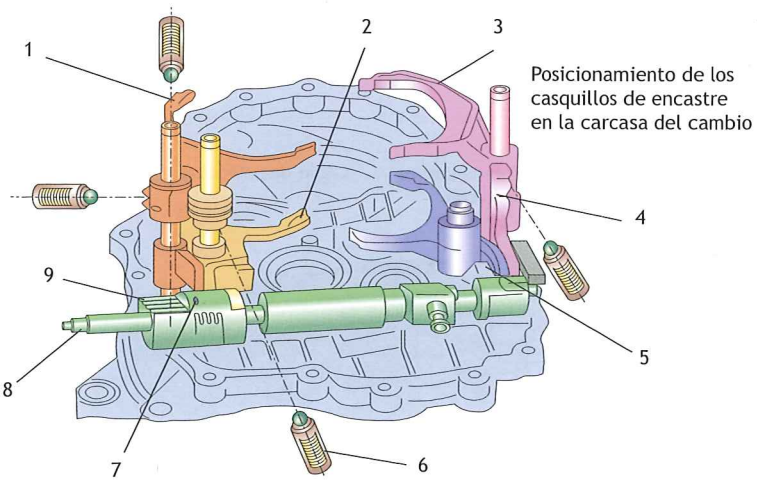


4.73. Mecanismo interno de una caja de velocidades longitudinal.

El mecanismo transmite la orden de selección de la velocidad a través de las varillas desplazables y las horquillas de selección para que sincronicen y acoplen la velocidad correspondiente. Las varillas, además, se retienen en su posición para evitar la inserción de dos velocidades a la vez.

El sistema de mando y el tipo y número de elementos que se utilicen dependen del tipo de caja que se emplee.

1. Horquilla de selección de las velocidades 3ª y 4ª
2. Horquilla de selección de las velocidades 1ª y 2ª
3. Horquilla de selección de las velocidades 3ª y 4ª
4. Horquilla de selección de M.A.
5. Dedo de conexión del eje selector
6. Casquillos de encastre con resorte y bola fiadora
7. Orificio para perno de retención (ajuste palanca de cambios)
8. Eje selector
9. Fiador

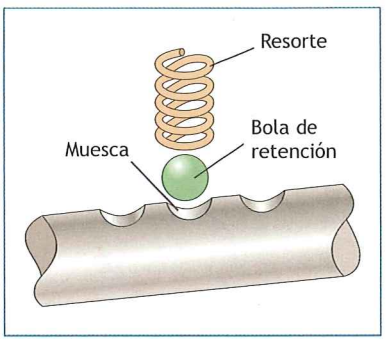


4.74. Mecanismo interno de una caja de cambios transversal.

El elemento principal del mecanismo interno es el eje selector, que está ubicado en la carcasa del cambio y dispone de los correspondientes dedos de conexión, que se insertan en las escotaduras de las varillas desplazables o directamente sobre las horquillas de selección. Sobre las varillas desplazables se fijan las horquillas de selección, que se insertan en las coronas de los dispositivos de sincronización.

El número de varillas desplazables y de horquillas de selección dependerá del número de velocidades de la caja, teniendo en cuenta que cada horquilla se utiliza normalmente para acoplar dos velocidades.

Cada varilla desplazable dispone de un fiador propio (figura 4.75) fijo en la carcasa del cambio. Cuando se acopla una velocidad, uno de los casquillos de encastre o bola fiadora bloquea la posición de la horquilla para impedir que esta se desplace por sí sola y se desacople así la velocidad engranada. Cada varilla desplazable dispone del número de muescas necesarias para acoplar el fiador en cada posición; lo habitual son tres: una para el punto muerto y dos para las velocidades que suele acoplar cada horquilla de selección.



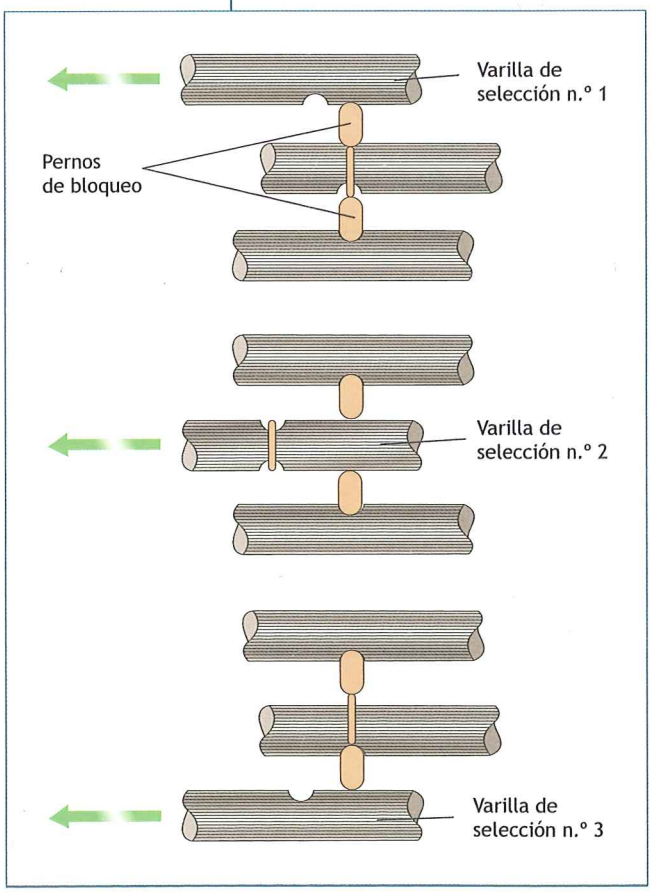
4.75. Fiador sobre varilla desplazable.

En algunos tipos de cajas se utilizan pernos de bloqueo en las varillas desplazables para evitar la conexión de dos velocidades a la vez. En este caso, las varillas desplazables están dispuestas en posición paralela con una separación adecuada entre sí.

En los sistemas de tres varillas desplazables, las dos de los extremos tienen mecanizada una muesca o hendidura donde descansa uno de los extremos del perno de bloqueo. La del centro dispone de un orificio pasante en cuyo interior se aloja un pasador donde descansa el otro extremo de cada uno de los pernos de bloqueo.

Los pernos de bloqueo permanecen inmóviles en desplazamiento axial. Al desplazar las varillas en sentido axial, se desplaza a su vez la hendidura y aumenta la sección de la varilla en contacto con el perno de bloqueo, lo que provoca un desplazamiento en cadena del perno de bloqueo, el pasador y el otro perno de bloqueo. En consecuencia, la reducción de espacio originada genera una presión entre los elementos que impide que cualquiera de las otras varillas pueda moverse hasta que la varilla desplazada vuelva a su posición inicial (figura 4.76).

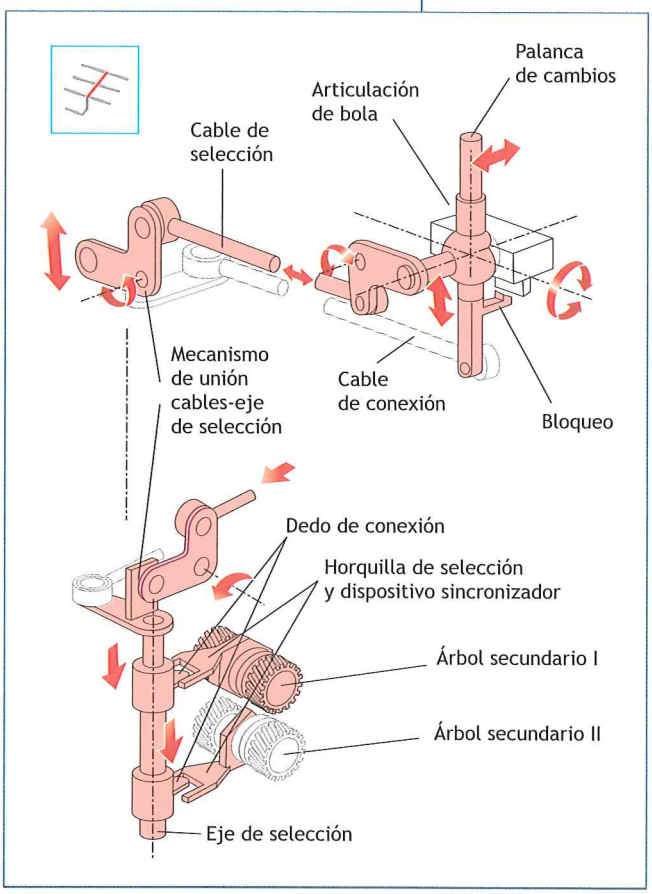
Si, por la forma de la caja de cambios, las varillas desplazables no están situadas en paralelo, se usan otros métodos de bloqueo. Si esta disposición es en forma de estrellas con las varillas a 120°, se suele utilizar un elemento de bloqueo en forma de disco dispuesto de manera que, al desplazarse una de las varillas, lo empuja y lo presiona contra las escotaduras de las otras dos varillas, impidiendo el desplazamiento de estas.



4.76. Pernos de bloqueo en las varillas desplazables.

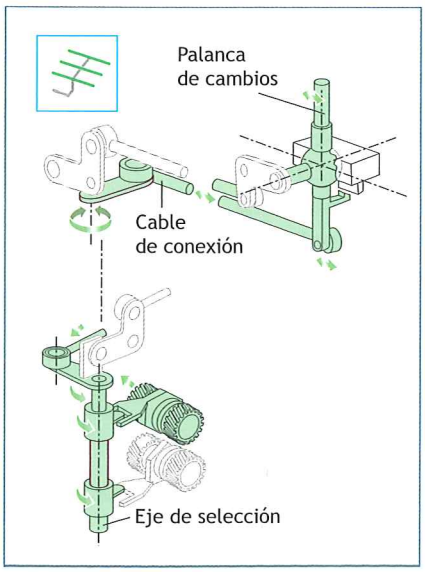
Funcionamiento del mecanismo interno

Los movimientos básicos de un mecanismo interno en la caja de cambios son los siguientes:

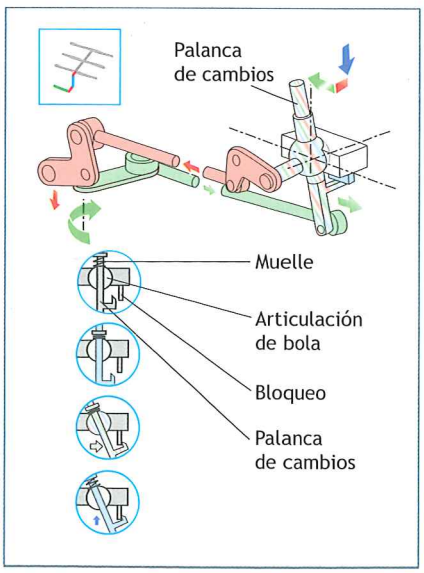


4.77. Movimiento de selección.

- **Movimiento de selección** (figura 4.77): el movimiento de la palanca de cambios hacia la derecha o la izquierda es transmitido por el cable de selección al mecanismo de unión con el eje de selección como un movimiento de tracción o empuje. Este mecanismo lo convierte en un movimiento descendente o ascendente del eje de selección, que enfrenta y posiciona el correspondiente dedo de conexión en la escotadura de la horquilla de selección de la velocidad seleccionada.
- **Movimiento de conexión** (figura 4.78): el movimiento de la palanca de cambios hacia delante o hacia atrás transmitido por el cable de conexión provoca un giro del eje de selección y, por lo tanto, también del dedo de conexión que está insertado en la escotadura de la horquilla del dispositivo de sincronización. De este modo se desplaza la corona y se inicia el proceso de sincronización de la velocidad y su posterior acoplamiento.
- **Conexión de la marcha atrás** (figura 4.79): para evitar seleccionar la marcha atrás por error, el sistema dispone de un bloqueo de seguridad que está situado en la palanca de cambios. Para seleccionar la marcha atrás es necesario en primer lugar ejercer presión sobre la palanca de cambios hacia abajo, para superar así la fuerza de un muelle, y luego moverla hacia la izquierda y hacia delante, para superar el punto de bloqueo.



4.78. Movimiento de conexión.



4.79. Movimiento de marcha atrás.

Técnica

Ajuste de un mencanismo de mando por cables

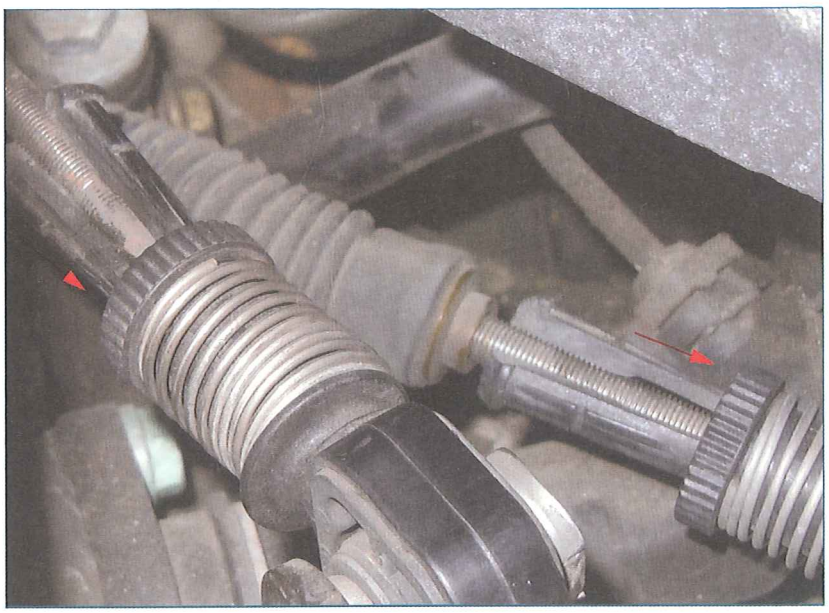
•• Para ajustar el mando del cambio de velocidades por cables seguiremos los siguientes pasos:

1. Comprimimos los muelles de los extremos de los cables de mando del mecanismo de selección de velocidades en la carcasa del cambio.

2. Inmovilizamos los muelles girando las tuercas de plástico (figura 4.80).

3. Localizamos en el lateral de la carcasa del cambio, al lado del selector de velocidades, el perno de bloqueo para el ajuste (figura 4.81).

4. Movemos manualmente el eje de selección de velocidades hasta la posición guía de primera/segunda velocidad.



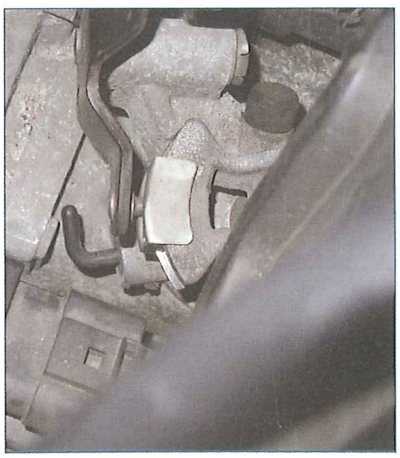
4.80. Inmovilización de los muelles.

5. Presionamos el perno de ajuste a fondo, hasta dejar bloqueado el eje de selección de velocidades en la posición definida.

6. Llevamos la palanca de cambios a la posición de primera/segunda. Desmontamos el guarnecido de la palanca y localizamos los orificios guía de la palanca y la carcasa (figura 4.82).

7. Inmovilizamos la palanca de cambios, introduciendo el pasador de enclavamiento entre los orificios de fijación, que han de coincidir con exactitud (figura 4.83).

8. Soltamos las tuercas de inmovilización en el mando de velocidades y liberamos los muelles. Soltamos también el perno de ajuste de la carcasa y extraemos el pasador de enclavamiento. Colocamos el guarnecido de la palanca de cambios.



4.81. Localización del perno de bloqueo para el ajuste.

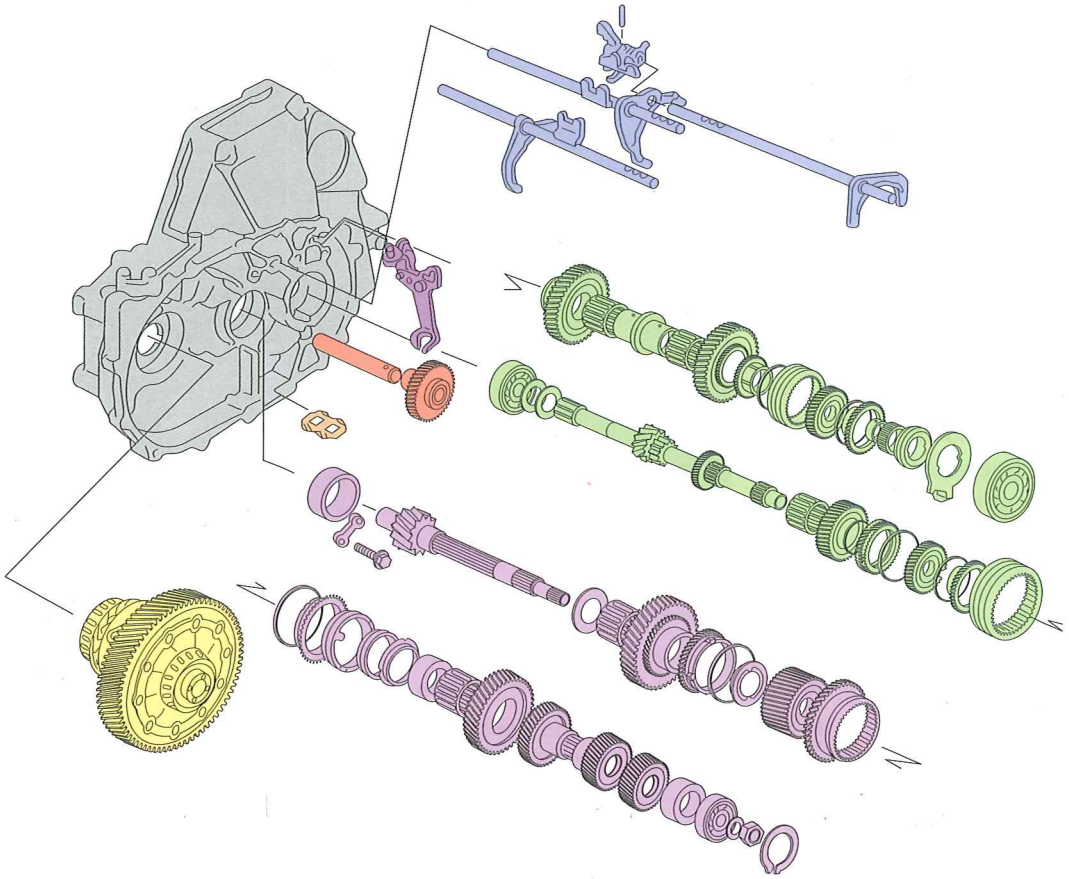
4.82. Colocación de la palanca de cambios en la posición de primera/segunda.

4.83. Inmovilización de la palanca de cambios.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

Dado el siguiente esquema de una caja de cambios, contesta a las cuestiones:



1·· ¿De qué tipo es esta caja de cambios? ¿Cuántos árboles tiene? Señala el árbol por el que entra el movimiento a la caja y el árbol que acciona a la corona del diferencial.

2·· ¿Cuántas velocidades tiene esta caja? Señala cada una de ellas en los árboles o ejes. Indica qué tipo de montaje presenta cada piñón sobre su árbol o eje correspondiente.

3·· Marca en la figura los rodamientos que soportan a cada uno de los árboles o ejes.

4·· Señala en la figura los cubos de los sincronizadores. ¿Son todos los sincronizadores de las velocidades iguales? Razona tu respuesta.

5·· Explica qué tipo de mando interno presenta este cambio. ¿Es posible saber qué horquilla acciona cada una de las velocidades? En caso afirmativo identifícalas en la figura.

.: APLICACIÓN :.

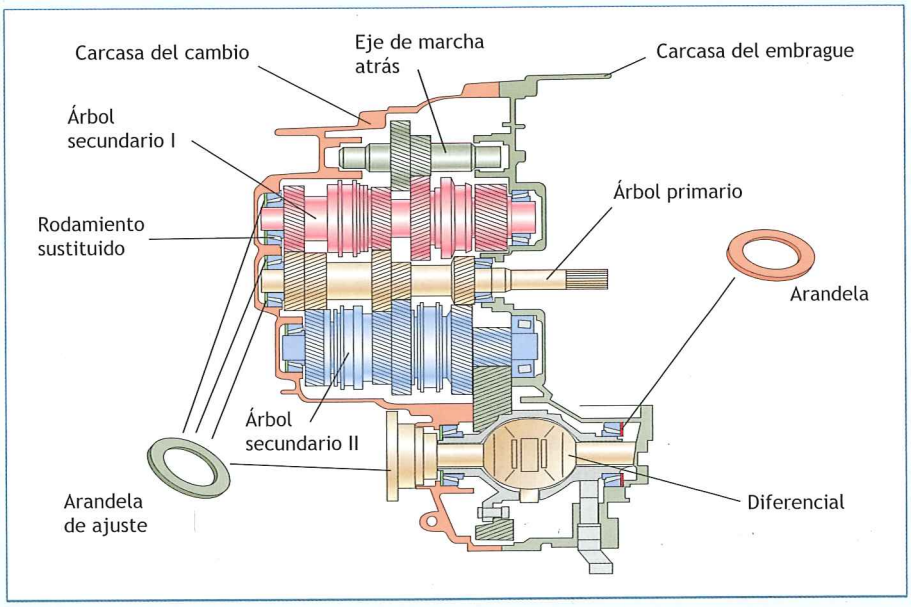
1·· Calcula las distintas relaciones de transmisión en una caja de cambios de tu aula taller que esté desmontada.

Caso final

Ajuste interno de una caja de seis velocidades

•• Realiza el ajuste interno de una caja de seis velocidades tras haber sustituido un rodamiento de rodillos cónicos del árbol secundario I.

Solución •• Después de una reparación en la caja de cambios, como por ejemplo la sustitución de las carcasas, se deberá proceder al ajuste axial interno del árbol primario, del árbol secundario I, del árbol secundario II y del diferencial antes de montar la caja de cambios, dado que los rodamientos de rodillos cónicos necesitan de un reglaje previo (precarga). En caso de que solo se sustituya alguno de los rodamientos, será necesario ajustar únicamente el árbol en cuestión. En este caso, realizaremos la práctica sobre una caja de cambios 02M de Volkswagen.



4.84. Situación del las arandelas de ajuste en una caja de cambios de dos árboles secundarios.

El material adicional necesario para realizar el ajuste es el siguiente:

- Un extractor de pinzas para rodamientos de toma por el interior (1).
- Un reloj comparador y una base magnética (2).
- Una pistola de aire caliente (3).
- Un termómetro con sonda (4).
- Un espray enfriador (5).

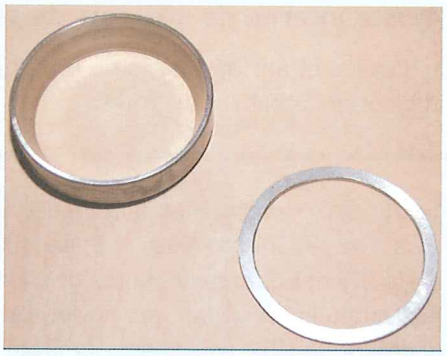
4.85. Material adicional para realizar el ajuste.

>>

Lo primero que debemos hacer es extraer la pista exterior del rodamiento de la carcasa del cambio con el extractor de pinzas para rodamientos de toma por el interior y su arandela de ajuste.

Una vez hecho esto, procederemos a colocar el nuevo rodamiento y su correspondiente arandela de ajuste del grosor adecuado, calculado según el procedimiento que se detalla a continuación, para regular el desplazamiento axial del árbol según los datos del manual del fabricante.

4.86. Extracción de la pista exterior del rodamiento.

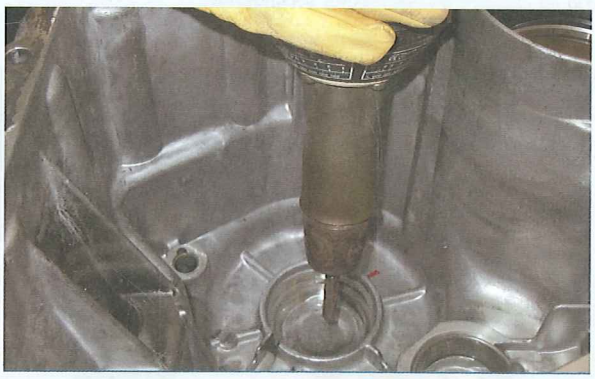


4.87. Pista exterior del rodamiento y su arandela de ajuste.

Para calcular el grosor de la arandela de ajuste es necesario calcular el juego interno realizando un montaje previo de la pista exterior del nuevo rodamiento en su correspondiente alojamiento, así como del árbol (en nuestro caso el secundario I) y de la carcasa de la caja de cambios, que sustenta un segundo rodamiento y permite una fijación en dirección opuesta.

Para realizar este proceso seguimos los siguientes pasos:

1. Posicionamos la caja de cambios en un soporte adecuado que nos permita el giro de la misma.
2. Verificamos el buen estado y la limpieza de las superficies de contacto de las carcasas, eliminando los restos de sellante que pudieran quedar.
3. Para proceder a la medición del ajuste interno, solo deberemos montar el árbol que se desee medir (en nuestro caso el secundario I).
4. Posicionamos la pista exterior del rodamiento de rodillos cónicos en el alojamiento de la carcasa del cambio, interponiendo previamente una arandela de ajuste del espesor apropiado (de 1,70 mm en el ejemplo). Para ello calentamos con la pistola de aire caliente el orificio del rodamiento en la carcasa del cambio (figura 4.88) hasta una temperatura aproximada de unos 68 °C, con el fin de que se dilate y nos resulte más fácil introducir después la pista exterior del rodamiento; evitamos así tener que utilizar una prensa o el utillaje específico. Controlamos la temperatura con el termómetro y la sonda (figura 4.89).



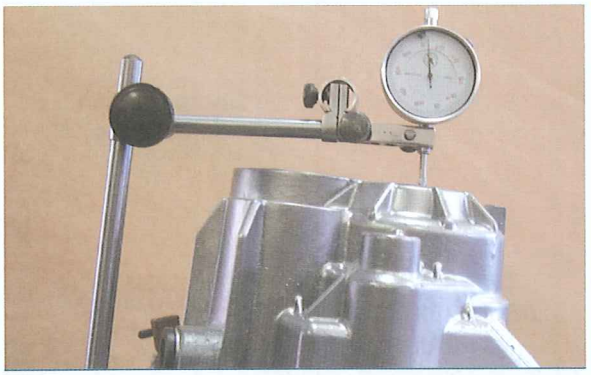
4.88. Calentamiento del orificio del rodamiento de la carcasa del cambio.

4.89. Medición de la temperatura del orificio del rodamiento con el termómetro y la sonda.

5. Cuando se alcance la temperatura deseada en el alojamiento de la carcasa del cambio, procedemos a contraer por enfriamiento la pista exterior del rodamiento usando el espray enfriador (figura 4.90).

6. Una vez enfriada la pista exterior del rodamiento, la cogemos con unos guantes de protección y la situamos en el alojamiento de la carcasa del cambio, interponiendo previamente la arandela de ajuste de 1,70 mm de grosor. Si es necesario ejercemos una ligera presión con las manos (con guantes) sobre la pista, procurando que se introduzca del modo más centrado posible, hasta que haga tope sobre la arandela y esta sobre el fondo del alojamiento.
7. Colocamos el árbol secundario I en el alojamiento de la carcasa del embrague y la carcasa del cambio sobre la carcasa del embrague.
8. Colocamos los tornillos que unen la carcasa del cambio y la del embrague con el par de apriete correspondiente de forma uniforme (en cruz).
9. Giramos el soporte para colocar la caja de cambios en posición vertical y fijamos el soporte y el aparato de medición (reloj comparador) a la altura conveniente con el palpador apoyado contra la carcasa, como se ve en la figura 4.91.

4.90. Contracción por enfriamiento de la pista exterior del rodamiento.



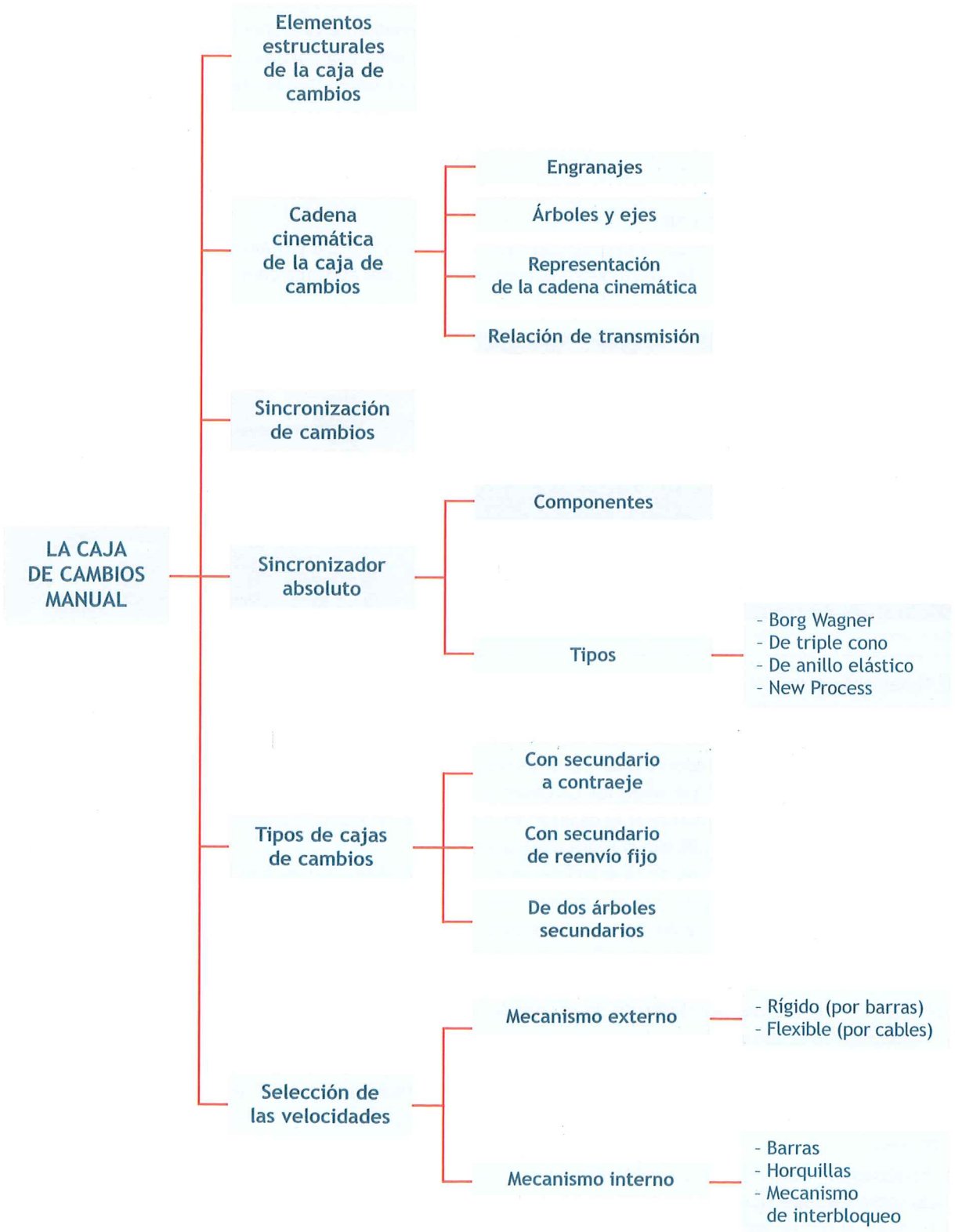
4.91. Posición del reloj comparador sobre la carcasa del cambio.

10. Ponemos la esfera orientable del reloj comparador en la posición «0» con una tensión previa de 1 mm.
11. Aflojamos los tornillos de unión de la carcasa del cambio a la carcasa del embrague uniformemente (en cruz), hasta que queden sueltas las carcasas y liberado el árbol objeto de medición.
12. Leemos en el reloj comparador el valor del desplazamiento de la aguja centesimal (en nuestro caso 0,14 mm).
13. Si al aflojar los tornillos que unen las carcasas no se experimenta un desplazamiento de la aguja en el reloj comparador, se deberá modificar el espesor de la arandela de ajuste. En nuestro ejemplo, emplearíamos espesores de 1,95 mm o de 2,20 mm si fuera necesario.
14. Calculamos el grosor óptimo de la arandela de ajuste, que obtendremos con la diferencia entre el valor medido (0,14 mm en el ejemplo) y la arandela de ajuste que hemos colocado (1,70 mm), sumada al valor recomendado por el fabricante (0,20 mm). En nuestro ejemplo:

1,70 mm - 0,14 mm + 0,20 mm = 1,76 mm sería el grosor óptimo de la arandela

15. Determinamos el valor final del grosor de la arandela de ajuste consultando los valores más cercanos al óptimo de los que dispone el fabricante de la caja de cambios (1,75 mm en nuestro ejemplo).
16. Desmontamos la carcasa del cambio y el árbol secundario I y extraemos la pista exterior del rodamiento de rodillos cónicos (seguimos el procedimiento usado al inicio) y la arandela de ajuste colocada anteriormente.
17. Volvemos a colocar la pista exterior del rodamiento de rodillos cónicos en el alojamiento de la carcasa del cambio según el procedimiento visto al principio, interponiendo previamente la arandela de ajuste calculada (1,75 mm).
18. Finalizamos montando los componentes sobre la carcasa del embrague. Aplicamos el sellante (no utiliza junta) sobre las superficies de contacto de las carcasas y cerramos la caja con la carcasa del cambio, dando a los tornillos el par de apriete correcto.

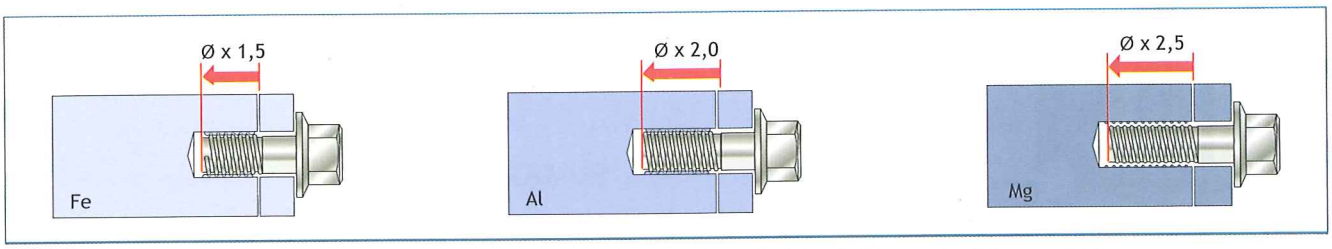
Ideas clave


LA CAJA DE CAMBIOS MANUAL
Elementos estructurales de la caja de cambios
Cadena cinemática de la caja de cambios
Engranajes
Árboles y ejes
Representación de la cadena cinemática
Relación de transmisión
Sincronización de cambios
Sincronizador absoluto
Componentes
Tipos
- Borg Wagner
- De triple cono
- De anillo elástico
- New Process
Tipos de cajas de cambios
Con secundario a contraeje
Con secundario de reenvío fijo
De dos árboles secundarios
Selección de las velocidades
Mecanismo externo
- Rígido (por barras)
- Flexible (por cables)
Mecanismo interno
- Barras
- Horquillas
- Mecanismo de interbloqueo

EL MAGNESIO EN LA FABRICACIÓN DE CAJAS DE CAMBIOS

Los tiempos actuales, en los que se exige un alto rendimiento con bajo consumo y una reducción de las emisiones contaminantes, requieren nuevas técnicas en la fabricación de los automóviles. Una de ellas consiste en reducir el peso del conjunto mediante la utilización de nuevas aleaciones que disminuyan el peso de cada componente. Uno de los ejemplos más comunes es el uso de magnesio en la fabricación de las carcasas y envolventes de los cambios de velocidades, lo que puede suponer una reducción de peso del componente de entre un 25 y un 30%.

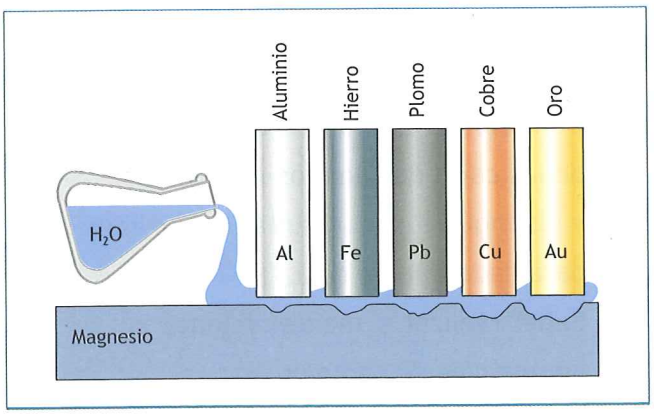
La utilización de magnesio (Mg), cuya densidad es de 1,738 g/cm³, frente a otros materiales como el hierro (Fe), con una densidad de 7,873 g/cm³, o el aluminio (Al), con una densidad de 2,699 g/cm³, supone una reducción considerable de peso, pero también una alta disminución de la resistencia, lo que obliga a reforzar las uniones atornilladas mediante la realización de orificios más profundos, como se puede observar en las siguientes ilustraciones:



4.92. Comparación de las profundidades de enroscado de los tornillos entre los materiales de hierro, aluminio y magnesio.

Serie de tensiones electroquímicas

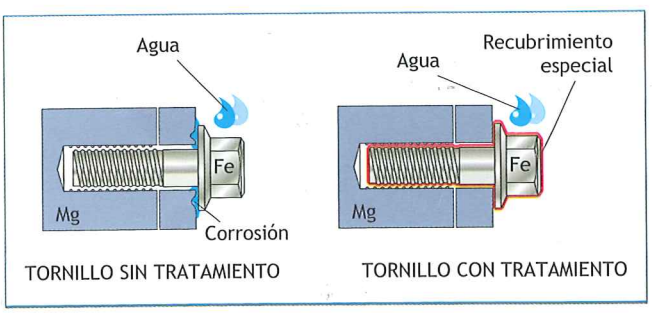
En las uniones de diferentes metales, si hay humedad, se produce un flujo de corriente eléctrica que propicia la descomposición de uno de los metales. Si un metal se descompone con facilidad, se denomina metal común o imperfecto; si se descompone con menor facilidad se denomina metal noble. Si se ordenan los metales en una fila, comenzando por los menos nobles y hasta llegar a los más nobles, se obtine una serie de tensiones electroquímicas. Cuanto más alejados estén entre sí los metales en la serie, tanto mayor es el flujo de corriente que se poduce entre ellos y, de este modo, puede descomponerse el metal menos noble.



4.93. Nivel de corrrosión de distintos metales con respecto al magnesio con agua.

Material de magnesio. Corrosión de contacto de una unión atornillada

En una unión atornillada (pieza de magnesio/tornillo de aleación férrica), si hay presencia de humedad en la superficie de contacto, se genera un flujo de corriente eléctrica entre los metales que provoca corrosión de contacto y, en consecuencia, la descomposición del magnesio. La corrosión de contacto se impide evitando el flujo de la corriente eléctrica entre los metales. Para ello se cubren los tornillos con una capa aislante Dacromet (tornillos dacromatizados), compuesta de polvo de cinc y aluminio. Estos tornillos son generalmente de color verde para distinguirse de los que no llevan dicho tratamiento. Es importante no sustituirlos por otros tornillos que carezcan de este tratamiento, ya que la superficie de contacto estaría expuesta a la corrosión.



4.94. Comportamiento de los tornillos frente al agua con y sin protección.

unidad 5

La caja de cambios manual II. Mantenimiento

SUMARIO

- Los rodamientos de la caja de cambios manual
- Sensores de señal de la caja de cambios manual
- La lubricación de la caja de cambios manual
- Diagnosis, verificación y reparación de la caja de cambios manual

OBJETIVOS

- Distinguir los rodamientos que se utilizan en las cajas de cambios manuales y sus configuraciones.
- Conocer los sensores presentes en las cajas de cambios.
- Comprender el proceso de lubricación de las cajas de cambios manuales y distinguir los lubricantes apropiados para cada tipo de caja.
- Saber realizar el mantenimiento de una caja de cambios manual.

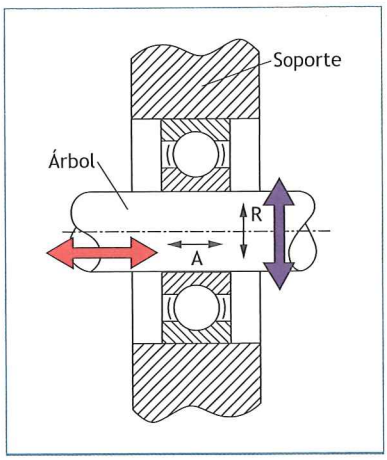
1 >> Soporte de los elementos de la cadena cinemática. Rodamientos

Los elementos de la cadena cinemática de las cajas de cambios, como árboles, ejes, grupo reductor/diferencial, piñones libres y, en general, todos aquellos elementos mecánicos de la caja que poseen un movimiento de giro sobre un eje geométrico, precisan de rodamientos que faciliten su giro, de manera que el movimiento de rozamiento por deslizamiento sea sustituido por un movimiento por rodadura.

En función del tipo de carga y la configuración de montaje se utilizan distintos tipos de rodamientos normalizados:

- Rodamiento rígido a bolas.
- Rodamiento de rodillos cilíndricos.
- Rodamiento de rodillos cónicos.
- Rodamiento o corona de agujas.

La cadena cinemática de la caja de cambios está sometida a cargas de tipo estático y dinámico (cargas radiales y cargas axiales) que deben ser soportadas por los rodamientos (figura 5.1). Por ello, es importante elegir los rodamientos y configuraciones de montaje adecuados y capaces de soportar dichas cargas para evitar su deterioro prematuro y otras averías colaterales.

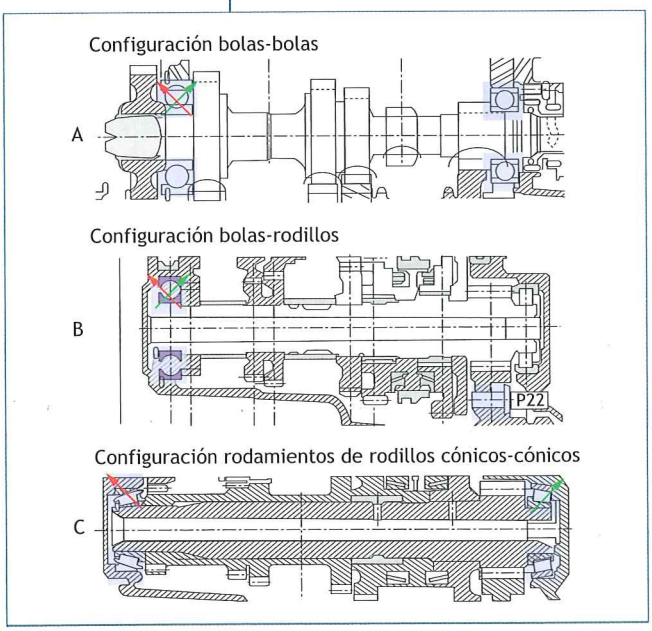


5.1. Cargas soportadas por los rodamientos.

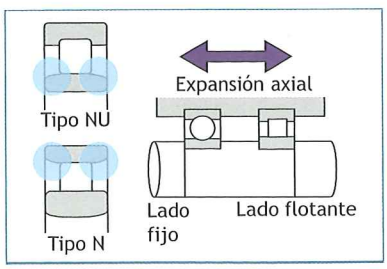
1.1 > Configuración de montaje de los rodamientos

Como soporte de árboles o ejes en las cajas de cambios, se dispone de las siguientes configuraciones básicas de montaje de los rodamientos:

- **Configuración de los rodamientos de bolas-bolas:** tiene pocas pérdidas, no necesita reglaje y es de bajo coste. Posee una mala relación capacidad/tamaño (figura 5.2A).
- **Configuración de los rodamientos de bolas-rodillos cilíndricos:** tiene pocas pérdidas, gran capacidad radial del rodamiento situado en el lado del diferencial y no necesita reglaje. Posee una mala relación capacidad/tamaño (figura 5.2B).
- **Configuración de los rodamientos de rodillos cónicos-rodillos cónicos:** posee muy buena relación capacidad/tamaño. Necesita reglaje (precarga) y tiene peor rendimiento que la configuración con rodamientos de bolas (figura 5.2C).
- **Configuración de los rodamientos de bolas-rodillos cilíndricos (lado flotante):** uno de los anillos de los rodamientos de rodillos cilíndricos de las series NU y N no tiene rebordes, lo que permite, dentro de unos límites, desplazamientos axiales entre el anillo interior y el exterior (figura 5.3). Gracias a esto es adecuada para usarse en el extremo libre del eje o árbol (lado flotante). Además absorbe el movimiento axial por expansión térmica.



5.2. Configuración de montaje de los rodamientos en las cajas de cambios.

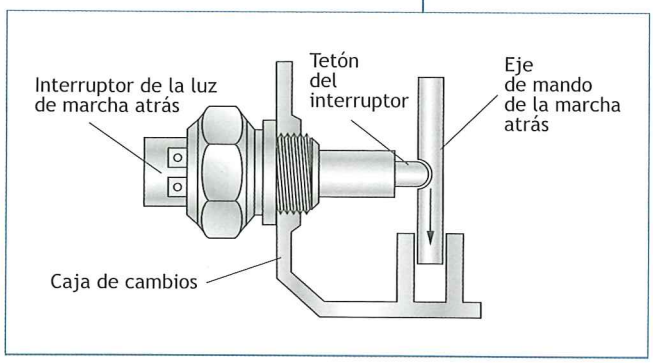


5.3. Rodamiento de rodillos cilíndricos con lado flotante.

2 >> Sensores de señal

En las cajas de cambios manuales existen dos tipos de sensores: el interruptor de las luces de marcha atrás y el transmisor para el velocímetro.

2.1 > Interruptor de las luces de marcha atrás



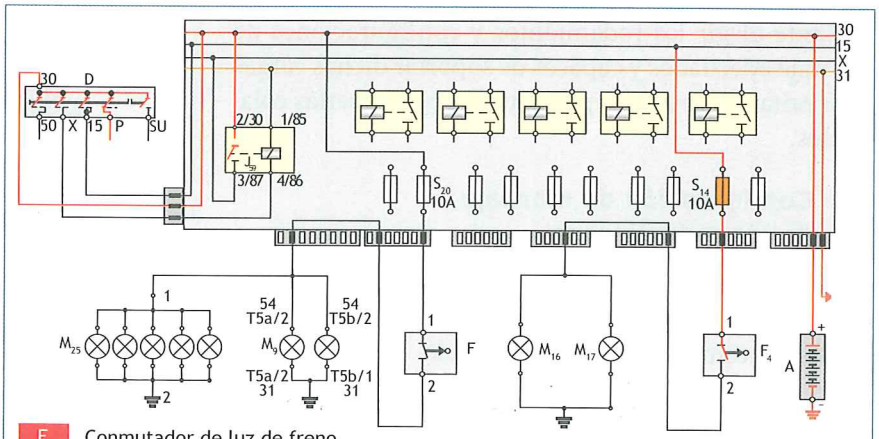
5.4. Ubicación del interruptor de marcha atrás en la caja de cambios.

Al seleccionar la marcha atrás, el eje de selección acciona al mismo tiempo el interruptor de las luces de marcha atrás, que dispone de un conector de dos polos (figura 5.4).

Este interruptor se puede montar en distintos tipos de circuitos:

– **Circuito convencional** (figura 5.6): el interruptor recibe la señal del borne 15 en uno de sus polos mediante la interposición de un fusible. Por el otro polo alimenta directamente las luces de la marcha atrás.

5.5. Interruptor de las luces de marcha atrás.



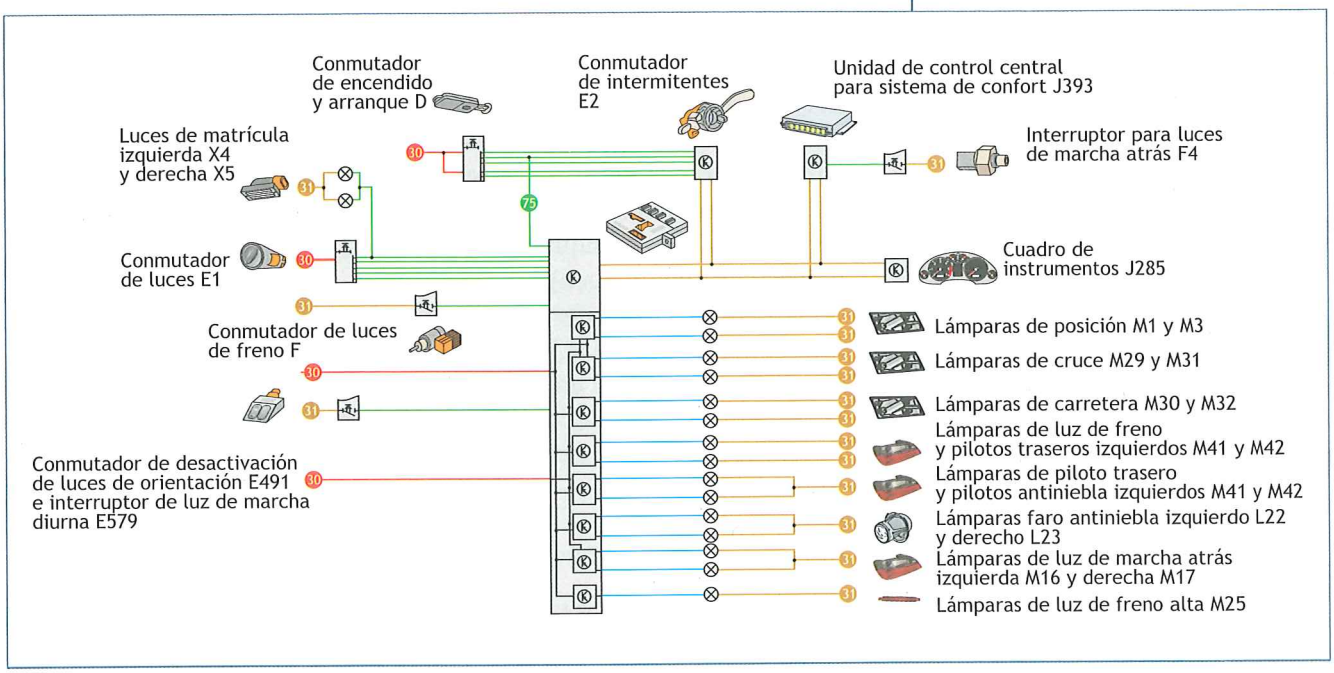
F	Conmutador de luz de freno
M9	Lámpara luz de freno izquierda
M10	Lámpara luz de freno derecha
M25	Lámpara luz de freno elevado (3ª luz de freno)
F4	Interruptor de las luces de marcha atrás
M16	Lámpara de la luz de marcha atrás izquierda
M17	Lámpara de la luz de marcha atrás derecha

Circuito: luces de freno y de freno elevado (en reposo)
Circuito: luces de marcha atrás (en reposo)

5.6. Esquema del circuito convencional de las luces de macha atrás.

– **Circuito con unidad de control de la red de a bordo:** el interruptor recibe en uno de sus polos la señal del borne 30 y por el otro polo envía la señal a la unidad de control de la red de a bordo. La unidad de control conecta la luz de marcha atrás cuando dispone de alimentación de 75 y recibe la señal al cerrarse el interruptor de la marcha atrás. Dependiendo de la codificación de la unidad, es posible que la unidad de control de la red de a bordo interrumpa la alimentación de la luz de marcha atrás al recibir vía CAN bus la señal de la apertura del portón, procedente de la unidad central de confort.

– **Circuito con unidad de control de confort y unidad de control de la red de a bordo** (figura 5.7): el interruptor recibe en uno de sus polos la señal 31 y por el otro polo envía la señal a la unidad de control de confort, que la transforma en mensaje CAN y lo transfiere al CAN bus de confort. La unidad de control de la red de a bordo recoge el mensaje del CAN bus y da la señal de encendido de las lámparas de marcha atrás.



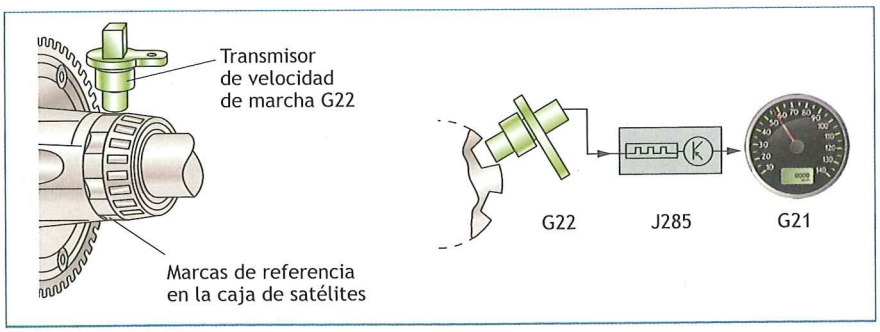
5.7. Esquema del circuito de las luces de marcha atrás con unidad de control de confort y unidad de control de la red de a bordo.

2.2 > Transmisor para el velocímetro

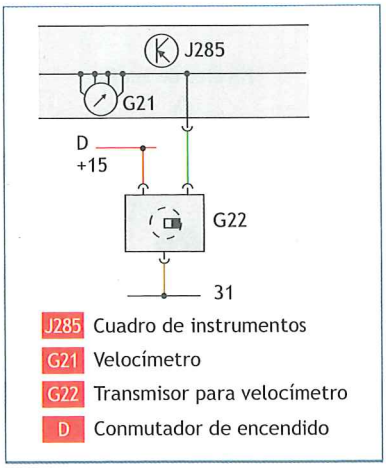
El transmisor para el velocímetro (figura 5.8) es un sensor de efecto Hall roscado sobre la carcasa del cambio de velocidades que informa del giro de una rueda generatriz de impulsos situada en el grupo diferencial.

El transmisor genera una señal acorde a la velocidad de marcha del vehículo que es enviada a la unidad de control y al velocímetro en el cuadro de instrumentos.

Si el transmisor sufre una avería, tiene lugar una intervención más temprana de la limitación de régimen.



5.8. Transmisor para el velocímetro.



5.9. Esquema de conexión del transmisor para el velocímetro.

Lubricación por capa límite

La lubricación límite ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas.

3 >> Lubricación de la caja de cambios

El objetivo principal del aceite de la caja de cambios es lubricar los componentes móviles de la misma para reducir el rozamiento y evitar así su desgaste prematuro.

Los lubricantes utilizados en las cajas de cambios deben cumplir las siguientes funciones:

- Disipar el calor.
- Disponer de un grado de viscosidad (GV) adecuado, que puede ser elevado (lubricación por capa límite) o lo suficientemente fluido en frío como para procurar el desplazamiento de los mecanismos de engrane. Este grado de viscosidad se mide preferentemente según la escala SAE (J306) de transmisiones, aunque también existen otros grupos que miden este índice (tabla del margen).
- Conservar las superficies y los circuitos limpios de sedimentos.
- Ser compatibles con las juntas de estanqueidad.
- Mantener la suciedad en suspensión.
- Tener propiedades anticorrosivas, antiherrumbre y antiespumantes.
- Tener propiedades de extrema presión (EP) elevadas para poder evitar el contacto entre metales.
- Prevenir el desgaste por fatiga de las superficies (picado).
- Disponer de aditivos EP adecuados según la norma API y multigrado.

Además estos lubricantes también tienen que ser capaces de:

- Proporcionar la fricción correcta (ni muy baja ni muy alta).
- Resistir las altas fuerzas de corte.
- Proteger de la corrosión del cobre a los elementos con partes de bronce (aleación de cobre y estaño).

Grupos de medición de la viscosidad de los lubricantes	
Grupo	Qué clasifica
AGMA	Aceites para engranajes industriales
SAE	Aceites automotrices para motor y engranajes
SUS	Todos los lubricantes
ISO	Lubricantes industriales
cSt	Todos los lubricantes

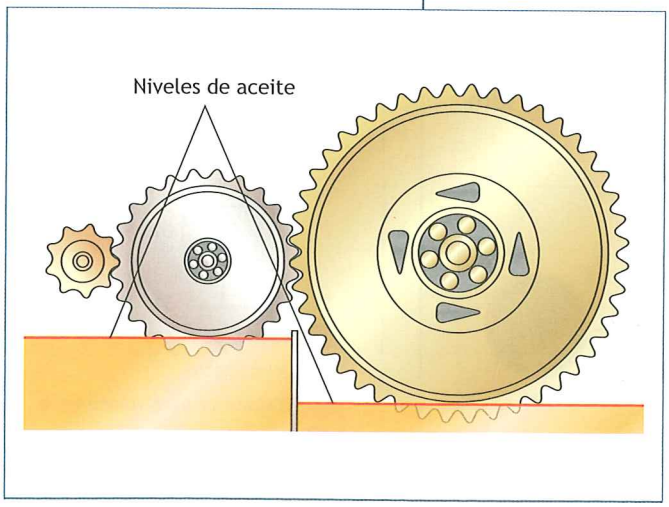
3.1 > Métodos de lubricación de la caja de cambios

Para favorecer una correcta lubricación de la caja de cambios manual se necesita lo siguiente:

- Una configuración interna de la caja que facilite el flujo del lubricante.
- Una ubicación accesible de los tapones de nivel y vaciado para facilitar el mantenimiento.
- Un imán o imanes que retengan las virutas desprendidas en el desgaste de los elementos de la caja.

La lubricación de las cajas de cambios se puede hacer mediante dos métodos:

- **Por inmersión:** los elementos (árbol secundario, grupo cónico y diferencial) están sumergidos en el aceite.
- **Por barboteo:** el aceite se proyecta sobre los elementos de la caja (figura 5.10). Con este método se lubrican elementos como los mecanismos de mando interno, el árbol primario, los rodamientos, etc.



5.10. Lubricación por barboteo.

Lubricación por barboteo

Dado que los engranajes de las cajas de cambios están dentro de una caja que los protege contra la entrada de impurezas y evita la proyección hacia el exterior del aceite contenido en su interior, el método más sencillo para su lubricación es el de barboteo.

El cárter de la caja contiene un baño de lubricante en el que está inmersa la parte inferior de uno de los engranajes, la cual, al rotar, proyecta el aceite sobre los otros engranajes y, a través de los conductos apropiados, también sobre los rodamientos. La profundidad a la que debe estar inmerso en el lubricante el engranaje en movimiento debe ser de alrededor de tres veces la altura de sus dientes.

Una velocidad de barboteo demasiado fuerte o una gran profundidad de barboteo producen pérdidas de potencia por agitación del aceite.

Uno de los principales problemas de este tipo de lubricación es que el aceite está continuamente agitado, por lo que las impurezas que se crean, si no son eliminadas continuamente, circulan entre los dientes de los engranajes. Además hay que añadir que el aceite no está refrigerado por una acción exterior.

3.2 > Tipos de lubricante

Para poder determinar el tipo de lubricante que se debe utilizar en una caja de cambios es necesario tener en cuenta el tipo de engranajes que posee: cilíndricos, cónicos o hipoides.

Los dientes de los engranajes provocan sobre la película de aceite elevadas presiones que tienden a romperla, por lo que es necesario utilizar lubricantes con el grado de viscosidad (GV) adecuado y aditivos de extrema presión (EP) que puedan soportar el trabajo que deben desarrollar.

Actualmente, para clasificar los niveles de calidad de los lubricantes para engranajes se utiliza la norma API *(American Petroleum Institute)*. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar distintos niveles, dependiendo de la exigencia que requiera su utilización, ordenados por su severidad con números precedidos por las siglas GL y MT. La clasificación recoge desde el API GL-1 al API MT-1, pero, en realidad, los utilizados actualmente son los API GL-4 y GL-5.

Grados SAE para engranajes

Para clasificar los lubricantes para engranajes según su grado SAE, se utiliza un sistema similar al utilizado para lubricantes de motor. En el sistema para engranajes los grados SAE 90, 140 y 250 están basados en las medidas de viscosidad a 100 °C y los grados SAE 75W, 80W y 85W, a −49, −26 y −12 °C, respectivamente.

Por tanto, el sistema de clasificación de este tipo de lubricantes es independiente de los lubricantes de motor, por lo que es difícil comparar las viscosidades entre ambos.

Por ejemplo, un lubricante de motor SAE 50 probablemente sea más viscoso que uno para engranajes SAE 80W.

EP (extrema presión)

Los aditivos de extrema presión (EP) son las sustancias que se añaden a los lubricantes para crear una capa protectora que proteja los dientes de los engranajes.

Existen dos tipos fundamentales de aditivos de EP: los aditivos de azufre-fósforo y los aditivos a base de borato. Los aditivos de azufre-fósforo son los más comunes en el mercado, pero los de borato ofrecen una protección más efectiva para los engranajes y además no poseen las desventajas que presentan los primeros.

5.11. Lubricante.

El API GL-3

Frecuentemente el API GL-3 es considerado obsoleto dado que tiene menos protección que el GL-4, pero algunos fabricantes lo recomiendan para evitar el desgaste y favorecer la sincronización.

Elección del API adecuado

La siguiente tabla muestra las calificaciones de lubricantes para engranajes (GL), no para cajas de cambios o transmisiones por lo que hay que utilizar el recomendado estrictamente por el fabricante. Demasiado aditivo EP reducirá el desgaste de los engranajes, los rodamientos y los árboles o ejes en determinadas condiciones, pero provocará el rápido deterioro de los sincronizadores. Por ejemplo, si el requerimiento es de un GL-4, hay que usar solo un GL-4 aunque en la etiqueta del envase indique «GL-4/GL-5» y el segundo sea aparentemente mejor lubricante.

Lubricante	Características
GL-3	Engranajes cilíndricos y cónicos que realicen esfuerzos moderados de carga y velocidad. Muy baja aditivación EP.
GL-4	Todo tipo de engranajes, incluidos los hipoides, que trabajen a cargas moderadas y baja velocidad, o viceversa. Compatible con metales blandos. Aditivación EP intermedia. Equivalente a la Norma MIL-L-21105.
GL-5	Engranajes con cargas muy severas y velocidades altas y bajas en todos los engranajes y, en especial, en los hipoides. No es compatible con metales blandos. Contenido muy elevado en aditivos EP. Equivalente a la Norma MIL-L-2105D. Algunos lubricantes que cumplen con esta clasificación NO DEBEN USARSE en transmisiones manuales donde se requieren lubricantes tipo GL-4. El GL-5 no reemplaza al GL-4.
GL-6 (obsoleta)	Aceites muy especiales para hipoides en condiciones de deslizamiento constante. Cumplían la norma FORD M2 C. 105A.
MT-1	Nuevo nivel de calidad para transmisiones. Condiciones de trabajo pesado, no soportadas por lubricantes del API GL-1 al API GL-5. Transmisiones manuales no sincronizadas y mandos finales en autobuses y camiones de servicio pesado. Da protección contra la degradación térmica, componentes de desgaste y deterioros de los sellos de aceite.

La denominación completa de un lubricante para caja de cambios es la siguiente (calidad y GV): API GL-4 SAE 85W90.

Técnica

Sustitución del aceite de una caja de cambios manual

•• No debemos olvidarnos de utilizar el EPI (equipo de protección individual) adecuado al trabajo que vamos a realizar. Comenzaremos vaciando de aceite la caja de cambios. Para obtener un mayor desalojo es conveniente que el aceite no esté a una temperatura demasiado baja para aumentar su fluidez:

1. Situamos el vehículo en un elevador, desmontamos la protección del vano motor (insonorización) si fuera necesario y ponemos un recipiente apropiado para la recogida y reciclado del aceite.
2. Limpiamos los contornos de los tapones de vaciado y nivel/relleno, los aflojamos y dejamos salir el aceite.
3. Limpiamos los tapones de nivel/relleno y vaciado del aceite.
4. Roscamos el tapón de vaciado del aceite con el par adecuado según el fabricante.
5. Introducimos el aceite por el orificio de nivel/relleno con el método más apropiado del que se disponga. Hay que tener en cuenta que la situación del orificio es lateral. El nivel de aceite será el correcto cuando aflore por el orificio de relleno pero sin desbordar por el bajo del mismo.
6. Roscamos el tapón de relleno del aceite y lo apretamos con el par adecuado según el fabricante.
7. Montamos la protección del vano motor (insonorización) si fuera necesario, bajamos el vehículo del elevador y reciclamos el aceite extraído en la operación.

3.3 > Retenes de aceite

Los retenes de aceite son juntas de estanqueidad para los mecanismos de rotación (árboles o ejes).

El retén es un elemento adicional de la caja de cambios y tiene la misión de proteger sus elementos internos. Se utiliza para proporcionar estanqueidad entre las superficies de los mecanismos de rotación y la carcasa de la caja de cambios. De esta forma se incrementa la vida útil de los rodamientos, pues de lo contrario podría perderse el lubricante o algún contaminante podría entrar desde el exterior.

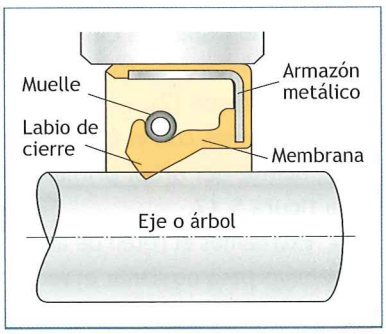
Dependiendo del tipo de caja de cambios, los retenes pueden ir ubicados en el árbol primario, el árbol secundario, el eje selector de velocidades o en los elementos planetarios del conjunto diferencial.

Los retenes están fabricados con caucho nitrilo, caucho fluorado (Viton), siliconas o teflón (PTFE). Las siliconas y el teflón aportan al retén una alta resistencia a la temperatura y la corrosión.

Composición de los retenes

Los retenes de aceite se componen, básicamente, de los siguientes elementos (figura 5.12):

- **Un armazón de acero:** da rigidez al conjunto y permite su montaje y fijación.
- **Un labio de cierre:** es la parte del retén que está en contacto con el mecanismo de rotación y, por lo tanto, sometida a un movimiento relativo y al consiguiente desgaste.
- **Un muelle:** situado en el interior, proporciona al labio de cierre la tensión de contacto adecuada contra el mecanismo de rotación.
- **Una membrana:** da flexibilidad al retén para adaptarse a las leves y constantes vibraciones que sufren los mecanismos de rotación.



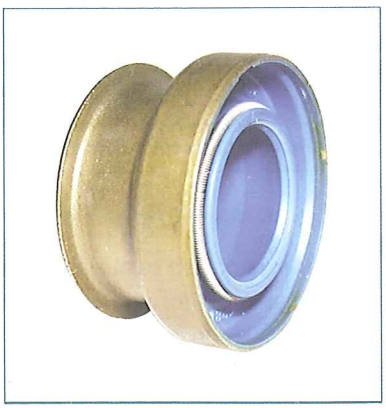
5.12. Retén de aceite.

Después de iniciarse el funcionamiento del mecanismo, entre las superficies de contacto del mecanismo de rotación y el labio de cierre se forma, por capilaridad, una pequeña película lubricante que en momentos puntuales puede incrementar su espesor, hasta llegar a permitir la fuga del aceite. La membrana debe tener, por tanto, la sensibilidad suficiente para acompañar al mecanismo de rotación en sus vibraciones y evitar la fuga del aceite, manteniendo el espesor de la película de lubricación más o menos constante.

Montaje de los retenes

Los retenes se montan usando útiles especiales que permiten encajarlos en su posición sin dañar el labio de cierre. Antes de colocarlos, deben ser engrasados para disminuir la fricción que sufren al deslizarse sobre la superficie del alojamiento y para proteger el labio de cierre cuando se inicia el funcionamiento del mecanismo de rotación.

Las superficies de fricción de los mecanismos de rotación en contacto con los labios de cierre no deben presentar estrías ni daños como golpes, marcas, fisuras, oxidación o protuberancias.



5.13. Retén del eje selector de velocidades.

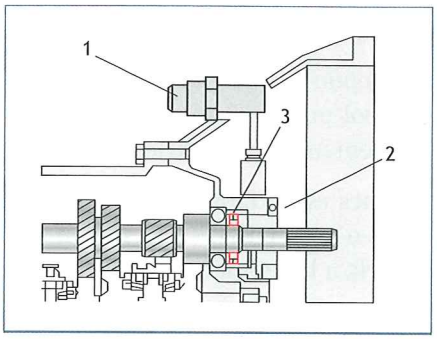
Casos prácticos

Sustitución de un retén de aceite

•• Estando el motor o la caja de cambios desmontada, sustituye un retén del árbol primario de la caja de cambios IB5 de Ford.

Solución •• En la figura 5.14 se muestra la ubicación de los componentes en la carcasa del envolvente de la caja de cambios:

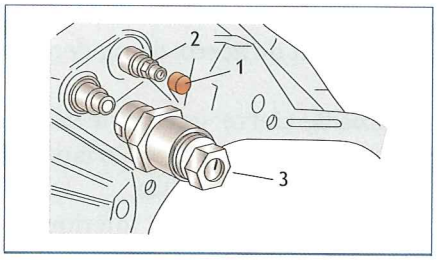
- Válvula de precarga del cojinete de empuje del embrague (1).
- Retén de aceite (accesible desde el exterior) (3).
- Cojinete de empuje del embrague (2).



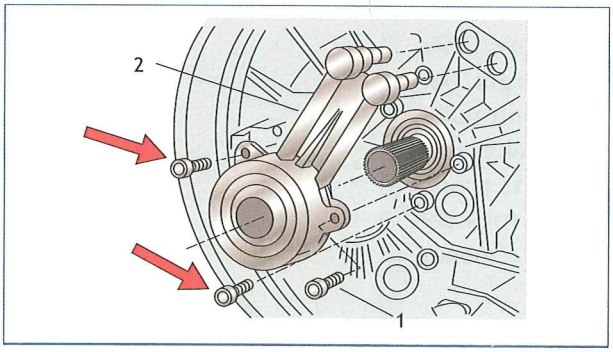
5.14. Ubicación de los componentes.

Para **desmontar el retén** debemos seguir los siguientes pasos:

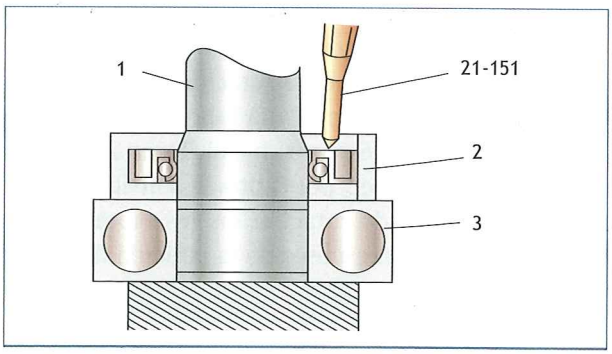
1. Desmontamos la válvula de precarga (figura 5.15): retiramos el capuchón (1) y desenroscamos la válvula de purga (2) y la válvula de precarga (3). Antes de hacerlo, debemos tomar las precauciones debidas ante la posible salida de líquido de frenos.
2. Desmontamos el cilindro receptor del embrague (figura 5.16) quitando primero los tornillos (1) y, a continuación, el cilindro receptor del embrague (2).
3. Marcamos con el útil específico (21-151) o con un granete el retén de aceite del árbol primario (1) solo en la posición que se indica en la figura 5.17.
4. Extraemos el retén de aceite (2). Para ello tomando las precauciones debidas para no dañar el rodamiento de bolas (3), roscamos en el retén de aceite (2) un tornillo autorroscante de 2,5 x 1,5 mm (dos vueltas como máximo) y extraemos el retén de aceite haciendo palanca.



5.15. Válvula de precarga.



5.16. Cilindro receptor del embrague.



5.17. Marcado del retén de aceite.

Para **montar el retén** debemos seguir los siguientes pasos:

1. Montamos en su alojamiento el retén previamente lubricado y el cilindro receptor del embrague (figura 5.16), apretando uniformemente los tornillos al par especificado (10 Nm en nuestro caso). De esta forma, el retén se va introduciendo en su alojamiento del envolvente de la caja de cambios.
2. Montamos la válvula de precarga (figura 5.15) sin excedernos del par de apriete especificado (10 Nm en nuestro caso). Roscamos el tornillo de purga y colocamos el capuchón.

4 >> Diagnosis de averías de la caja de cambios manual

A continuación se exponen, en rasgos generales, las averías más frecuentes que se pueden producir en una caja de cambios manual.

4.1 > Aparición de ruidos extraños durante el funcionamiento de la caja de cambios

La localización del componente de la transmisión que origina la aparición de ruidos parásitos o de una intensidad superior a lo que se considera normal en el funcionamiento de una caja de cambios puede ser una tarea sencilla, como cuando están provocados por la propia caja de cambios por haber recorrido ya muchos kilómetros, o resultar, por el contrario, una ardua tarea, ya que la caja de cambios forma parte de la cadena cinemática de la transmisión de movimiento de los vehículos y los ruidos pueden provenir de otro componente adyacente a la misma, como el volante bimasa o el cojinete de empuje del embrague, que pueden producir ruidos en las fases de arranque y de parada del vehículo, en las aceleraciones, a alto régimen o en la transmisión.

Por lo expuesto anteriormente, los componentes mencionados deben ser previamente comprobados y descartados antes de intervenir sobre la caja de cambios.

Comprobaciones

Antes de realizar las comprobaciones pertinentes, se debe analizar el nivel y el estado del aceite de la caja de cambios mediante el tacto. Si fuera áspero, significaría que está contaminado y habría que cambiarlo.

Las comprobaciones que se deben realizar en la caja de cambios para detectar ruidos extraños y observar cómo se producen o si existen irregularidades en el funcionamiento son las siguientes:

- **Primera comprobación.** Con el vehículo en una zona horizontal y libre de obstáculos:
  - Introducir la 1ª velocidad e iniciar el movimiento del vehículo.
  - Girar el volante de la dirección hacia la derecha hasta llegar a su tope.
  - Circular durante dos vueltas completas.
  - Girar el volante de la dirección hacia la izquierda hasta llegar a su tope.
  - Circular durante dos vueltas completas.
- **Segunda comprobación.** Realizar un recorrido que incluya una rampa pronunciada, circulando durante aproximadamente 15 minutos e introduciendo todas las velocidades disponibles de la caja de cambios, según las siguientes condiciones:
  - El avance a una velocidad superior se realizará a un régimen motor de 3000 rpm.
  - El retroceso a una velocidad inferior se realizará a un régimen motor de 1500 rpm.

Se debe desmontar y reparar la caja de cambios o, en su caso, sustituirla si durante la realización de las comprobaciones anteriores surgen una o varias de las siguientes irregularidades:

- En el transcurso de la comprobación sobre terreno horizontal es necesario realizar un gran esfuerzo para mantener la dirección al máximo.
- En curva, se observa la aparición de ruidos estridentes que proceden del conjunto diferencial.
- Se perciben chasquidos cuando se introduce una velocidad o se realiza el embragado.

Después de haberse realizado las reparaciones oportunas, deberán repetirse las comprobaciones.

Causas

Las causas que suelen producir ruidos extraños en la caja de cambios manual son las siguientes:

- Bajo nivel de aceite o su mal estado: un nivel bajo de aceite, la presencia de asperezas o los síntomas de descomposición pueden provocar un funcionamiento precario y ruidoso de la caja de cambios por el giro defectuoso de los elementos mecánicos debido a la falta de lubricación o a su baja calidad. Además esto puede llegar en algún caso a agarrotar (gripar) los elementos mecánicos.
- Presencia de holguras en los piñones libres y árboles: esta es la causa más frecuente. También hay que comprobar el alabeo de los árboles o ejes.
- Desgaste de los anillos sincronizadores y/o rodamientos: los sincronizadores están expuestos a grandes esfuerzos, por lo que son propensos a sufrir desgastes importantes que provocan ruidos o chasquidos, sobre todo al intentar introducir las velocidades. Es necesario revisar también el desgaste de los rodamientos.

Control del aceite de la caja de cambios

A pesar de que actualmente los fabricantes preconicen la no sustitución del aceite de la caja de cambios garantizándolo de por vida, es necesario realizar con cierta frecuencia el control del nivel y el estado del mismo.

4.2 > Dificultad en la inserción de las velocidades

Una caja de cambios que funciona correctamente no ofrece ninguna dificultad al cambiar de una velocidad a otra. La palanca de cambios debe finalizar su recorrido sin requerir asistencia, tanto al insertar como al extraer las velocidades.

Comprobaciones

Con el vehículo parado y en la posición de desembragado, se deben realizar las siguientes operaciones para cada una de las velocidades de la caja:

- Realizar dos pasos seguidos de la primera velocidad volviendo al punto muerto después de cada paso.
- Insertar la velocidad y comprobar que la palanca de cambios finaliza su recorrido sin requerir asistencia.
- Extraer la velocidad y comprobar que la palanca de cambios finaliza su recorrido hacia la posición de punto muerto sin requerir asistencia.

A continuación se llevan a cabo las mismas comprobaciones con el resto de las velocidades.

Causas

Si al insertar o extraer una o varias velocidades la palanca de cambios necesita de una asistencia por parte del conductor para terminar su recorrido, podría existir una avería en el embrague o en la caja de cambios.

5.18. Comprobación de la dureza de inserción de las velocidades.

Si se trata de una **avería en el embrague**, se notará dureza al insertar o extraer todas las velocidades. Esto puede estar ocasionado por defectos de este elemento o por un desajuste de su sistema de mando que provoca que la fase de desembragado se realice solo parcialmente. Por tanto, se debe comprobar el ajuste del mando del embrague.

Si se trata de una **avería en la caja de cambios**, puede deberse a una de las siguientes causas:

- La existencia de desajustes o deformaciones en el sistema de mando del cambio de velocidades: un endurecimiento de la cabeza esférica de la palanca de cambios o una deformación en alguna de las palancas del sistema de mando implica que las velocidades se inserten con una mayor o menor dureza, según sea el estado de la deformación. Es necesario comprobar o realizar el ajuste del mando del cambio de velocidades, además de lubricar los elementos del sistema de mando que lo precisen (rótulas, extremos de varillas, etc.). Si todo está correcto o tras las correcciones persiste la avería, la causa debe encontrarse en el interior de la caja de cambios.
- El uso de un lubricante muy viscoso o de un nivel de calidad API-GL distinto al requerido para la caja de cambios (demasiado aditivo EP): esto puede ocasionar la dureza en la maniobra del cambio de velocidades. Antes de proceder al desmontaje de la caja de cambios, ha de comprobarse el nivel del lubricante de la caja, así como la calidad del mismo, a través del orificio de nivel o de llenado. Si surgieran dudas, se efectuaría la sustitución del lubricante por el especificado por el fabricante de la caja.
- Endurecimiento de las varillas desplazables: esto puede ocasionar la falta de suavidad necesaria para poder realizar la maniobra de inserción de una o todas las velocidades. Desmontada la caja de cambios, se comprueba el correcto desplazamiento de estas varillas.
- Desgaste de los anillos sincronizadores: debido al funcionamiento, estos van desgastándose hasta llegar a un punto en el que ya no es posible igualar en condiciones óptimas la velocidad de los piñones libres y sus árboles, lo que ocasiona que las velocidades entren con gran dificultad, además de generar ruidos y chasquidos. Por tanto, se debe verificar el desgaste del anillo sincronizador y de todo el conjunto sincronizador, incluida la horquilla de selección.

Hay que prestar especial atención al estado de los elementos de retención de la corona del sincronizador. Si dispone de resortes para los elementos de retención ubicados en el cubo del sincronizador, cabe la posibilidad de que se haya producido la rotura de alguno de ellos.

5.19. Conjunto horquilla-sincronizador, uno de los posibles causantes del desengranaje repentino de las velocidades.

4.3 > Desacoplamiento repentino de las velocidades

Un deficiente estado de los elementos de mando interno o de retención de la caja de cambios puede provocar que alguna de las velocidades, en especial las bajas, sean propensas a salirse y llegar a desacoplarse inesperadamente.

Comprobaciones

Las comprobaciones que se deben realizar son las mismas que las expuestas en el epígrafe 4.1. Durante su realización se debe observar si surgen las siguientes irregularidades:

- La palanca de cambios no permanece en la posición fijada con el motor bajo carga.
- Una velocidad se desacopla.

Si aparece alguna de estas irregularidades, debemos comprobar el buen estado de las fijaciones del conjunto motor-caja de cambios, por si fuera este el motivo de la avería. Si no es así, debemos desmontar y reparar la caja de cambios o, en su caso, sustituirla.

Causas

Las causas principales del desacoplamiento repentino de las velocidades son las siguientes:

- El desgaste excesivo de los elementos de retención del conjunto sincronizador o de las varillas de mando, como bolas o bulones fiadores, y el debilitamiento de los resortes de presión de los mismos.
- El desgaste de los elementos de los mecanismos de mando, como las varillas desplazables.
- La holgura excesiva entre las horquillas de mando y la corona del conjunto sincronizador.

4.4 > Fugas de aceite

También pueden aparecen pequeñas fugas de aceite, aunque la caja de cambios funcione correctamente.

Comprobaciones

Debe realizarse una inspección visual de la caja de cambios para localizar el origen de la fuga de aceite.

Causas

Las causas principales de las fugas de aceite en la caja de cambios son:

- Excesivo nivel de aceite: en este caso, la caja de cambios, durante su funcionamiento, expulsará el aceite hacia el exterior a través de las salidas entre las juntas de estanqueidad. Hay que comprobar el nivel de aceite de la caja y, en su caso, extraer la cantidad sobrante.
- Aflojado de los tornillos de unión de las carcasas: se ha de comprobar el par de apriete de los mismos.
- Deterioro de las juntas de estanqueidad (pasta de juntas, retenes, etc.): deben sustituirse los retenes o la junta deteriorada.

5 >> Proceso de verificación y reparación de una caja de cambios manual

Para realizar con éxito una reparación de la caja de cambios es imprescindible contar con el correspondiente manual de reparación facilitado por el fabricante, además de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Para el proceso de desmontaje y verificación:
  - Mantener la zona de trabajo limpia y ordenada.
  - Respetar las normas de seguridad laboral y protección ambiental.
  - Realizar una elección adecuada y un uso correcto de las herramientas manuales, el utillaje, la prensa hidráulica, etc.
  - Respetar el emparejamiento de los ejes con las horquillas de selección y del piñón libre con el conjunto sincronizador.
  - Marcar los componentes con la referencia en sus mecanismos antes de desmontarlos y almacenarlos ordenadamente, y resguardados del polvo.
- Para el proceso de montaje:
  - Limpiar los compontes de la caja de cambios y los restos de sellante. No utilizar abrasivos ni herramientas cortantes en los planos de junta.
  - Limpiar los elementos roscados (tornillos y taladros roscados).
  - Montar los elementos limpios y sin defectos como marcas o rebabas.
  - Lubricar con aceite de la caja los elementos según se van montando.
  - Después de su desmontaje, sustituir los elementos que aparecen en la tabla del margen por su correspondiente repuesto, respetando las indicaciones del fabricante.

Una vez desmontada la caja de cambios, se procederá a la verificación de los elementos de la misma, utilizando los soportes y aparatos de medida adecuados, así como a la realización de los ajustes necesarios antes de proceder a su montaje. Las comprobaciones más habituales se realizan sobre los árboles, los ejes, los anillos sincronizadores, los piñones libres y las horquillas de selección.

Los datos obtenidos en estas verificaciones deberán ser comparados con los datos proporcionados por el fabricante en el manual de reparación de la caja para poder evaluar el estado de los componentes y la sustitución de los mismos si están defectuosos.

En el proceso de montaje de los componentes de la caja se comprobará:

- Que los trenes de engranajes giran libres y que se produce el acoplamiento correcto de las velocidades, desplazando manualmente los sincronizadores.
- El correcto posicionamiento de las horquillas de selección y el desplazamiento de las varillas de mando.
- El sellado de las uniones entre las tapas y las carcasas.

Al terminar el montaje de todos los componentes, se comprueba el correcto funcionamiento de la caja de cambios girando el árbol primario y engranando con la palanca selectora todas velocidades y la marcha atrás.

Los datos de verificación expuestos en los siguientes apartados corresponden a un modelo de caja de cambios concreto y solo sirven como ejemplo.

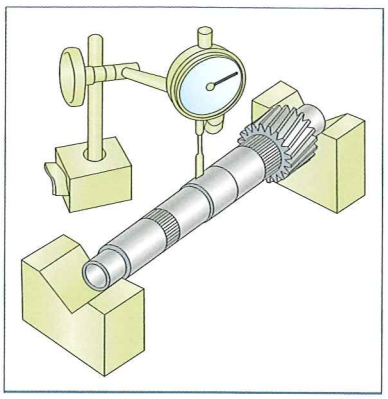
Elementos que se deben sustituir tras el desmontaje de una caja de cambios manual

- Las juntas
- Los retenes de aceite
- Las grupillas
- Los rodamientos
- Las juntas tóricas
- Los circlips de los rodamientos
- Los pasadores elásticos
- Los resortes de los sincronizadores
- Las arandelas elásticas
- Los tornillos de apriete de la guía del collarín (embrague)
- Los tornillos de apriete de la corona del diferencial
- El arillo de freno del eje porta-satélites (diferencial)

5.1 > Comprobación de los árboles

Lo primero que hay que hacer es comprobar que el árbol no tenga señales evidentes de deterioro ni huellas de desgaste.

Verificación del alabeo (descentrado)



5.20. Verificación del alabeo del árbol secundario.

Un valor elevado del alabeo de los árboles fuera del intervalo de tolerancia puede provocar ruidos y vibraciones en la cadena cinemática o dificultad para engranar las distintas velocidades.

El árbol que se vaya a verificar debe apoyarse sobre una superficie completamente plana, como la de un mármol de ajustador, con la mediación en sus extremos de dos calzos o prismas en «V» colocados de manera que las superficies del árbol y el mármol estén paralelas. Se utiliza como instrumento de medida un reloj comparador con una base magnética que se fija sobre la superficie del mármol.

La articulación de la base magnética se adapta para que el palpador del reloj comparador se apoye sobre la superficie del árbol que esté más centrada con respecto a los extremos de apoyo. Se da una tensión previa al reloj comparador de 1 mm y el árbol se gira una vuelta completa sobre sus apoyos, observando la desviación máxima de la aguja del reloj (figura 5.20).

Para completar el proceso es aconsejable realizar dos mediciones más en ambos extremos del árbol. El valor máximo de medida obtenido en las tres mediciones corresponderá al valor del alabeo del árbol.

El valor máximo de alabeo debe ser menor de 0,03 mm. De no ser así, se debe proceder a la sustitución del árbol.

Verificación del diámetro exterior de las muñequillas y los apoyos

5.21. Medición de la muñequilla de un árbol secundario.

Con el árbol que se vaya a verificar apoyado o sujeto convenientemente, se comprueban los diámetros exteriores con un micrómetro apropiado para las medidas que deban tomarse. En determinados modelos de cajas de cambios el soporte de los piñones libres consta de un casquillo postizo superpuesto a la muñequilla del árbol (figura 5.21).

Si alguna de las medidas obtenidas es menor al diámetro exterior mínimo indicado por el fabricante, se debe sustituir el árbol o los casquillos postizos.

5.2 > Comprobación del eje y el piñón de marcha atrás

Verificación del diámetro del eje de marcha atrás

Para realizar la comprobación del desgaste del eje de marcha atrás se procede de la siguiente forma:

- Se selecciona un micrómetro adecuado para las medidas que se van a realizar.
- Se mide el diámetro exterior del eje.
- Se compara el valor obtenido con el valor del diámetro exterior mínimo indicado por el fabricante.

Si el valor obtenido es menor que el diámetro mínimo indicado por el fabricante, se debe proceder a la sustitución del eje.

Verificación del diámetro interior del piñón de marcha atrás

El diámetro interior del piñón de marcha atrás se comprueba con un calibre o pie de rey. Si la medida obtenida es superior al diámetro máximo, debe sustituirse el piñón de marcha atrás.

5.3 > Comprobación de los anillos sincronizadores

En el proceso de verificación, si los anillos sincronizadores se reutilizan en el montaje de la caja de cambios, hay que procurar no confundirlos y emparejarlos con su piñón correspondiente.

Con el funcionamiento, los anillos sincronizadores se desgastan y llega un momento en que la velocidad de los piñones no se puede igualar a la de sus árboles, lo que ocasiona que la velocidad sea imposible o difícil de introducir y que genere chasquidos y ruidos.

Los requerimientos mínimos en los sincronizadores son:

- No presentar huellas de desgaste ni deterioro.
- Poseer alta calidad de fricción.
- Bloqueo del anillo sincronizador en el piñón libre.

Comprobaciones

En los anillos sincronizadores de las cajas de cambios se deben realizar las siguientes comprobaciones:

- No existe un desgaste evidente en la zona estriada (figura 5.22) del anillo sincronizador.
- El bloqueo del anillo sincronizador es correcto, lo que se comprueba, montado el anillo sincronizador en el piñón libre, haciendo girar el anillo sincronizador en un sentido y el piñón libre en el otro (figura 5.23).
- No está dañado el recubrimiento en los anillos sincronizadores recubiertos.
- En los anillos intermedios de los sincronizadores de triple cono, las superficies de fricción exterior o interior no presentan marcas, señales de desgaste evidente ni un color azulado (sobrecalentamiento).

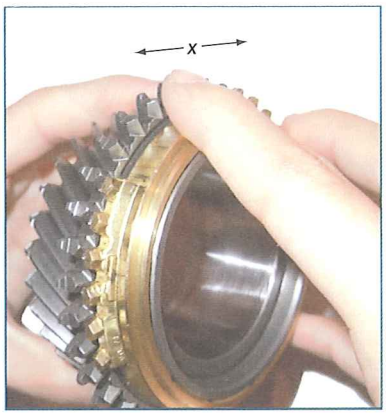
Verificación del desgaste del anillo sincronizador

Para realizar esta verificación, el anillo sincronizador se presiona contra el piñón libre correspondiente y, con unas galgas de espesores, se mide la holgura entre la parte inferior de dicho anillo y el extremo de la ranura del piñón (figura 5.24).

Al ser superficies cónicas, un juego excesivamente pequeño evidencia que existe un desgaste en el anillo sincronizador, lo que permite que este se introduzca más en la superficie del cono del piñón.

El valor de la holgura nominal debe estar entre 0,80 y 1,60 mm. Si la medida obtenida es inferior a la holgura mínima, se debe proceder a la sustitución del anillo sincronizador.

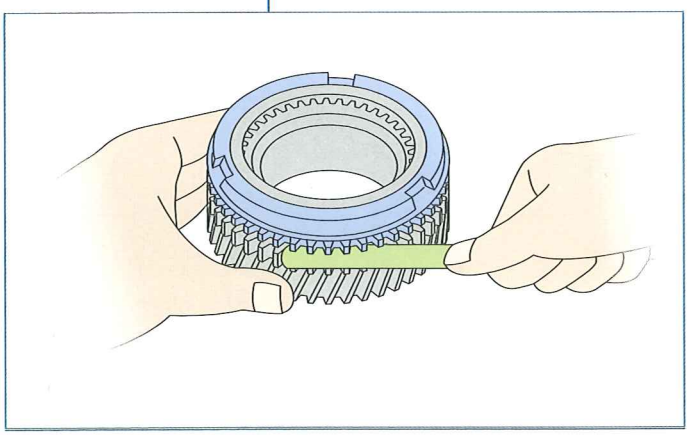
5.22. Zona estriada del anillo sincronizador.



5.23. Comprobación del bloqueo del anillo sincronizador.

Montaje del conjunto sincronizador

Es muy importante montar en la posición y el orden correctos los elementos del conjunto sincronizador, respetando el emparejamiento de dicho conjunto sincronizador con la corona y el buje.

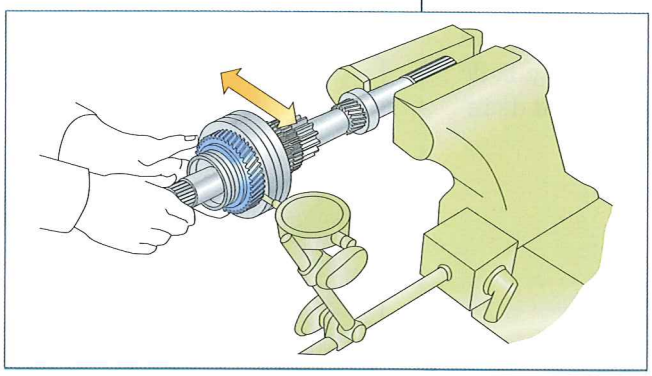


5.24. Verificación del desgaste del anillo sincronizador.

5.4 > Comprobación de holguras en los piñones libres

Una vez montados los piñones libres en sus árboles correspondientes con interposición de los casquillos postizos, si los hubiera, y los rodamientos de agujas, se procederá a la verificación de la holgura radial con respecto al árbol y la holgura axial con respecto a los componentes adyacentes. Un juego radial o axial excesivo puede producir vibraciones o ruidos en el funcionamiento de la caja de cambios.

Verificación de la holgura radial

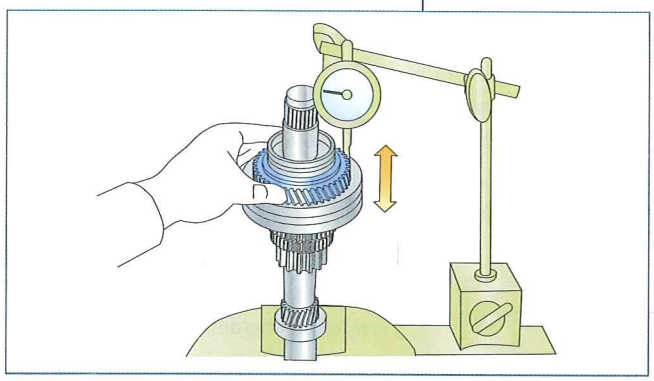


5.25. Medida de la holgura radial del piñón de la 4ª velocidad (árbol primario).

La verificación de la holgura radial se realiza siguiendo estos pasos:

1. Se fija el árbol convenientemente, por ejemplo en un tornillo de banco con las mordazas debidamente protegidas para evitar daños.
2. Se fija la base magnética de un reloj comparador y se coloca su palpador en contacto con el piñón libre.
3. Se da una tensión previa de 1 mm al reloj y se pone a cero.
4. Se mueve con la mano el piñón libre en sentido radial, observando el desplazamiento de la aguja del aparato de medida (figura 5.25).

El valor de la holgura nominal debe estar entre 0,015 y 0,058 mm. Si la medida obtenida es superior a la holgura máxima, se deberá sustituir el rodamiento de agujas, si lo hubiera. Si, por el contrario, la medida del diámetro exterior del árbol o casquillo postizo es correcta, se sustituirá el piñón libre.

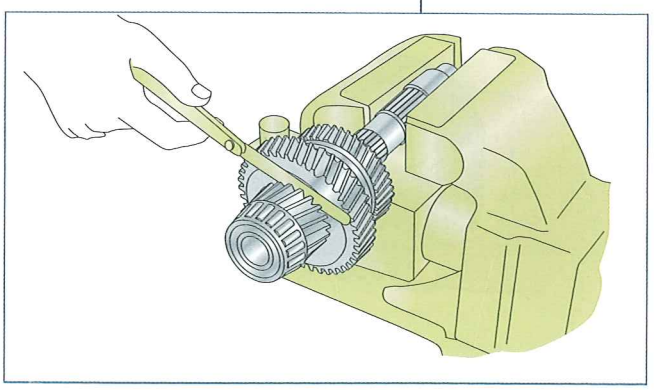


5.26. Medida en vertical de la holgura axial del piñón de la 4ª velocidad (árbol primario).

Verificación de la holgura axial

Para verificar la holgura axial se coloca el árbol correspondiente en posición vertical u horizontal, sujeto con la protección adecuada sobre un soporte (tornillo de banco):

- En posición vertical se presiona el piñón con la mano en sentido axial hacia abajo. Se posiciona el palpador del reloj comparador sobre la superficie del piñón, se le da una tensión previa de 1 mm y se pone a cero. A continuación se presiona con la mano en sentido axial hacia arriba y se anota el valor resultante (figura 5.26).
- En posición horizontal se utiliza un juego de galgas de espesores para medir la holgura axial (figura 5.27).



5.27. Medida en horizontal de la holgura axial del piñón de la 1ª velocidad (árbol secundario).

El valor de la holgura nominal debe estar entre 0,1 y 0,55 mm. Si la medida obtenida es superior a la holgura máxima, se debe sustituir la arandela de ajuste o el *circlip* de retención.

Colocación del circlip y regulación de la holgura axial del árbol

Una vez montados los componentes en el árbol correspondiente, se debe seleccionar el espesor (según los valores de espesor disponibles) del *circlip* adecuado para mantener la holgura axial nominal de los componente en el árbol primario dentro del valor indicado por el fabricante.

5.5 > Comprobación de las horquillas de selección

En las horquillas de selección de las velocidades se comprueba que no existen golpes, deformaciones ni fisuras.

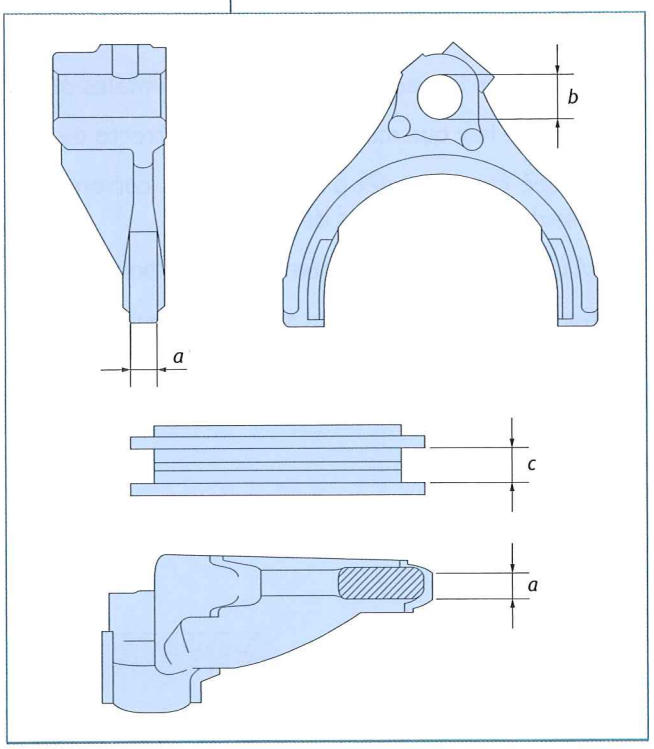
Además, se verifican los desgastes producidos en la horquilla y su holgura con respecto a la corona del conjunto sincronizador. Un desgaste que supera las tolerancias origina holguras en el mecanismo de selección de las velocidades, lo que puede ocasionar que alguna de ellas se desacople espontáneamente.

Verificación del espesor y el diámetro interior

Para medir el espesor (*a*) y el diámetro (*b*) interior de las horquillas se utiliza un calibre o pie de rey. Si las medidas obtenidas superan las tolerancias, se deberá sustituir la horquilla de selección.

Verificación de la holgura entre la horquilla y la corona del conjunto sincronizador

Esta verificación se realiza con un calibre o pie de rey, midiendo el ancho de la garganta de la corona del conjunto sincronizador (*c*) y el espesor (*a*) de su horquilla de selección. La diferencia entre ambas medidas ($c - a$) nos da la holgura que existe entre ambos elementos.



5.28. Medidas de la horquilla de selección.

El valor de la holgura nominal debe estar entre 0,15 y 0,35 mm. Si la holgura obtenida no se corresponde con las especificaciones, deberán sustituirse ambos elementos.

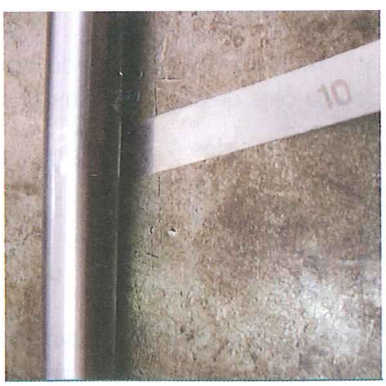
La sustitución de la corona del conjunto sincronizador implica la sustitución del cubo o buje del sincronizador, ya que ambos elementos forman un conjunto asociado.

5.6 > Comprobación del alabeo de las varillas de mando

El alabeo o deformación de las varillas de mando puede ocasionar que dichas varillas no se desplacen correctamente sobre sus alojamientos y que resulte más difícil realizar la selección de las distintas velocidades.

La verificación debe realizarse apoyando las varillas sobre una superficie perfectamente plana (mármol de ajustador) y comprobando el contacto total de ambas superficies con la ayuda de un juego de galgas. Si el resultado no se mantiene dentro de los límites tolerables, se sustituirá la varilla.

El valor de la deformación máxima admisible es de 0,1 mm.



5.29. Comprobación del alabeo de una varilla de mando.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

1·· ¿Cuál es la misión de los rodamientos en las cajas de cambios? ¿Cuál es el tipo de configuración más adecuada para controlar las cargas axiales sin necesidad de reglaje (precarga)?

2·· ¿Qué consecuencias puede tener un defecto en los soportes de la cadena cinemática de la caja de cambios?

3·· Describe el funcionamiento del interruptor de luces de marcha atrás en montaje para un circuito convencional.

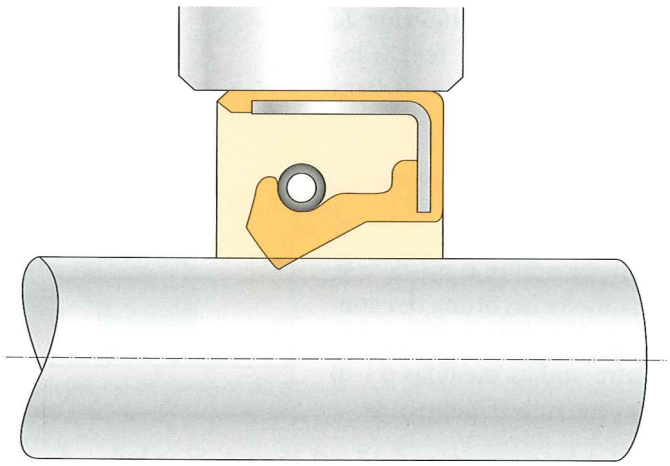
4·· ¿Cuáles son los requerimientos fundamentales del grado de viscosidad de un lubricante para las cajas de cambios?

5·· ¿Por qué hay que mantener el nivel correcto de lubricante en la caja de cambios?

6·· ¿A qué categoría API para engranajes corresponden, generalmente, los lubricantes utilizados en las cajas de cambios de los automóviles de turismo?

7·· ¿A qué hay que prestar atención en el montaje de los retenes de aceite?

8·· Nombra los elementos del siguiente dibujo de un retén de aceite:



9·· Enumera las dificultades que pueden aparecer en la inserción de las velocidades.

10·· Describe el procedimiento de verificación del desgaste de un anillo sincronizador.

.: APLICACIÓN :.

1·· Utilizando los aparatos de medida adecuados y teniendo en cuenta los aspectos relativos al proceso de verificación de una caja de cambios manual, realiza la comprobación de los siguientes componentes:

a) Árboles y ejes
b) Anillos sincronizadores
c) Piñones libres
d) Horquillas
e) Varillas de mando

Anota los resultados y compáralos con los facilitados por el fabricante. En función de estas comparaciones, valora el estado de los componentes de la caja de cambios y, en su caso, dictamina la sustitución de los que están defectuosos y las posibles anomalías que podrían causar en el funcionamiento de la caja de no ser reemplazados.

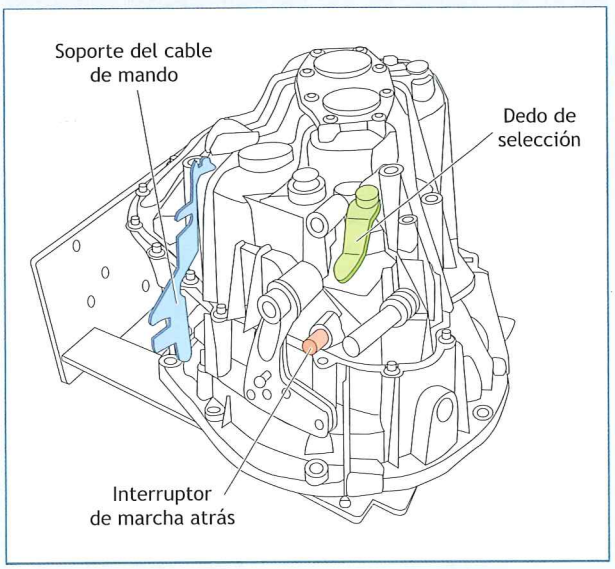
Caso final

Desmontaje y montaje de una caja de cambios manual

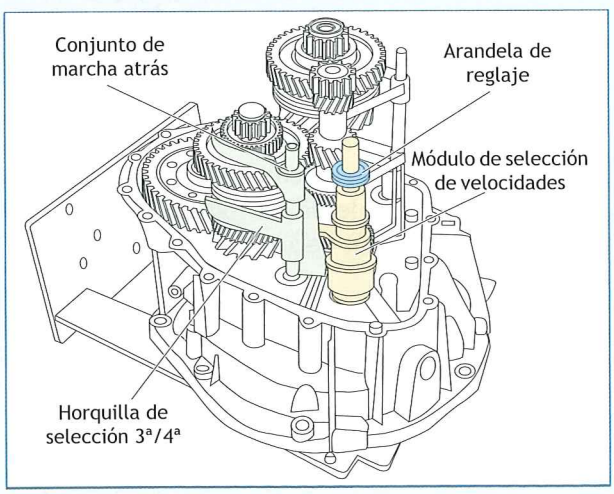
•• Realiza el desmontaje y el posterior montaje de una caja de seis velocidades con dos árboles secundarios.

Solución •• El proceso general que se describe a continuación es aplicable a otras cajas de cambios manuales. Si bien, en este caso, como se especifica en el enunciado, realizaremos el desmontaje y montaje de una caja de seis velocidades con dos árboles secundarios. Para ello, comenzamos con los siguientes pasos:

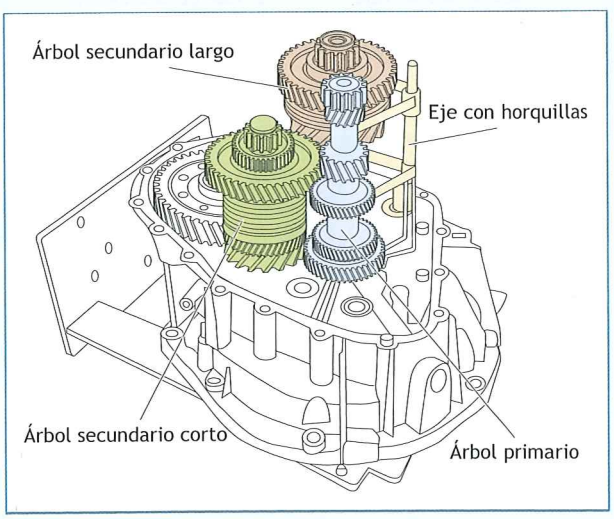
1. Situamos la caja de cambios en un soporte adecuado que permita el giro de la misma y nos facilite el proceso.
2. Desmontamos los elementos exteriores de la carcasa principal (figura 5.30): extraemos el dedo de selección de las velocidades, el soporte del cable de mando y el interruptor de marcha atrás.
3. Aflojamos y quitamos los tornillos de unión de la carcasa principal y del embrague.
4. Giramos la palanca de paso para liberar el dedo de mando y la extraemos levantando al mismo tiempo la carcasa principal.
5. Recuperamos la arandela de reglaje y extraemos el módulo de mando de selección de las velocidades (figura 5.31).
6. Extraemos el conjunto eje y corona desplazable de marcha atrás y posteriormente la horquilla de selección 3ª/4ª (figura 5.31).
7. Extraemos el árbol secundario corto (figura 5.32).
8. Extraemos el conjunto del árbol secundario largo con las varillas y horquillas de selección y el árbol primario (figura 5.32).



5.30. Elementos exteriores de la caja.



5.31. Situación de los primeros elementos que se deben extraer de la caja de cambios.

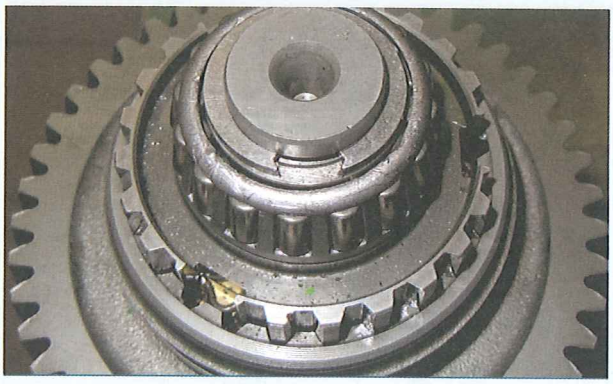


5.32. Situación de los árboles de la caja de cambios.

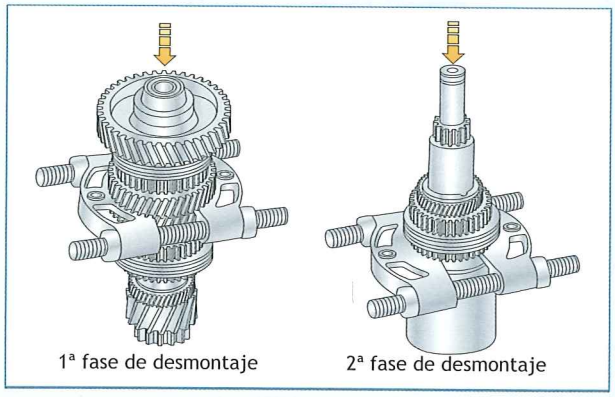
>>

Desmontaje de la piñonería de los árboles secundarios

Para comenzar el proceso de desmontaje de los árboles secundarios, primero es necesario **extraer el *circlip*** que cierra cada uno de los conjuntos, situado en el rodamiento de uno de los extremos de los árboles (figura 5.33). Este proceso se realiza con unos alicates exteriores de abrir y unas gafas de protección. Para poder acceder al *circlip* y extraerlo es necesario romper o rebajar la jaula del rodamiento.



5.33. *Circlip* de cierre de uno de los árboles.



5.34. Fases de desmontaje del árbol secundario largo con la prensa hidráulica.

5.35. Desmontaje del árbol secundario corto con la prensa hidráulica.

Los casquillos soporte de los piñones libres están montados sobre los árboles con un ajuste de interferencia. Para su desmontaje es necesario aplicar una fuerza del orden de 10 a 15 toneladas, lo que supone tener que utilizar una prensa hidráulica.

El **desmontaje del árbol secundario largo** se realiza en dos fases (figura 5.34):

1. Extraemos con la prensa hidráulica el conjunto de casquillos, piñones libres y conjuntos sincronizadores, tomando apoyo bajo el piñón de la 2ª velocidad y utilizando un despegador, como por ejemplo el FACOM U53T. Antes del desmontaje, marcamos la posición de los elementos y de los bujes con respecto a la corona de los sincronizadores.
2. Extraemos con la prensa hidráulica el conjunto de casquillos, piñones libres y conjuntos sincronizadores restantes, tomando apoyo bajo el piñón de la 6ª velocidad con el despegador. Marcamos la posición de los elementos y el conjunto de los sincronizadores.

El **desmontaje del árbol secundario corto** (figura 5.35) se realiza extrayendo el conjunto formado por los casquillos, los piñones libres y los conjuntos sincronizadores con la prensa hidráulica, tomando apoyo bajo el piñón de la 3ª velocidad con unos calzos apoyados en la base de la prensa o utilizando el útil correspondiente (B.Vi.1510-01 índice L de Renault). Marcamos la posición de los elementos y el conjunto de los sincronizadores.

Una vez desmontada la piñonería de los árboles, procedemos al desmontaje de los rodamientos del otro extremo de los árboles secundarios y el rodamiento del árbol primario.

Con todo desmontado, procedemos a realizar las **comprobaciones y verificaciones** de los elementos de la cadena cinemática.

Además, se deben sustituir aquellos elementos que hayan sido extraídos: los retenes de aceite, la juntas tóricas, los *circlips* de los rodamientos, los resortes de los bujes de los sincronizadores y los pasadores elásticos.

Montaje de la piñonería de los árboles secundarios

Si en el proceso de comprobación de los elementos de la caja de cambios se ha sustituido algún casquillo bajo de los piñones libres o buje de sincronizador, se requiere una **modificación del calado.** Esta se determina mediante el siguiente método por comparación:

- Se mide la altura de la pieza original y la altura de la nueva pieza (casquillo o buje).
- Cuando la diferencia entre las medidas sea superior a 0,025 mm, hay que sustituir la arandela de reglaje y determinar el nuevo espesor de la misma, aumentándolo si la pieza nueva es inferior a la original o disminuyéndolo si la pieza nueva es superior a la original.

En este ejemplo, se ha sustituido el casquillo bajo del piñón de la marcha atrás y procedemos al cálculo de la nueva arandela de reglaje por el método de comparación. La altura del casquillo inicial es de 30,802 mm y la del casquillo nuevo es de 30,830 mm, es decir, existe una diferencia de 0,028 mm que habrá que compensar con la arandela de reglaje. La arandela inicial tiene un grosor de 2,056 mm, por tanto, para compensar el aumento de altura del nuevo casquillo, se necesitará una arandela de:

$$2{,}056 - 0{,}028 = 2{,}028 \text{ mm}$$

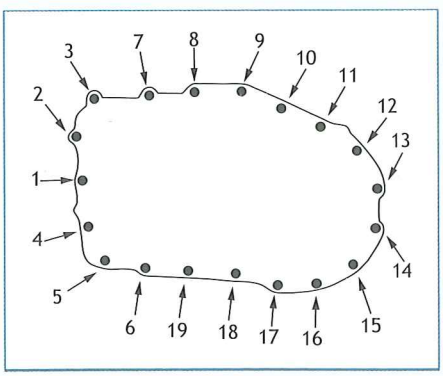
Como el fabricante solo suministra arandelas cuyo grosor varía de 0,02 en 0,02 mm, utilizaríamos una de 2,02 mm.

Para montar **la piñonería del árbol secundario largo** y la **piñonería del árbol secundario corto** procedemos en orden inverso al desmontaje, teniendo en cuenta:

- En el árbol secundario largo, introducir los casquillos que están bajo los piñones libres de las velocidades 5ª, 2ª y 1ª con la prensa hidráulica y una fuerza de 5 toneladas hasta hacer tope.
- En el árbol secundario corto, introducir los casquillos que están bajo los piñones libres de la 4ª velocidad y la marcha atrás con la prensa hidráulica y una fuerza de 5 toneladas hasta hacer tope.
- Posicionar bien las muescas de los sincronizadores de triple cono en ambos árboles.
- Finalizar el montaje de los árboles montando el rodamiento y un *circlip* nuevo que entre justo en la garganta y que una vez colocado no quede libre en su alojamiento.

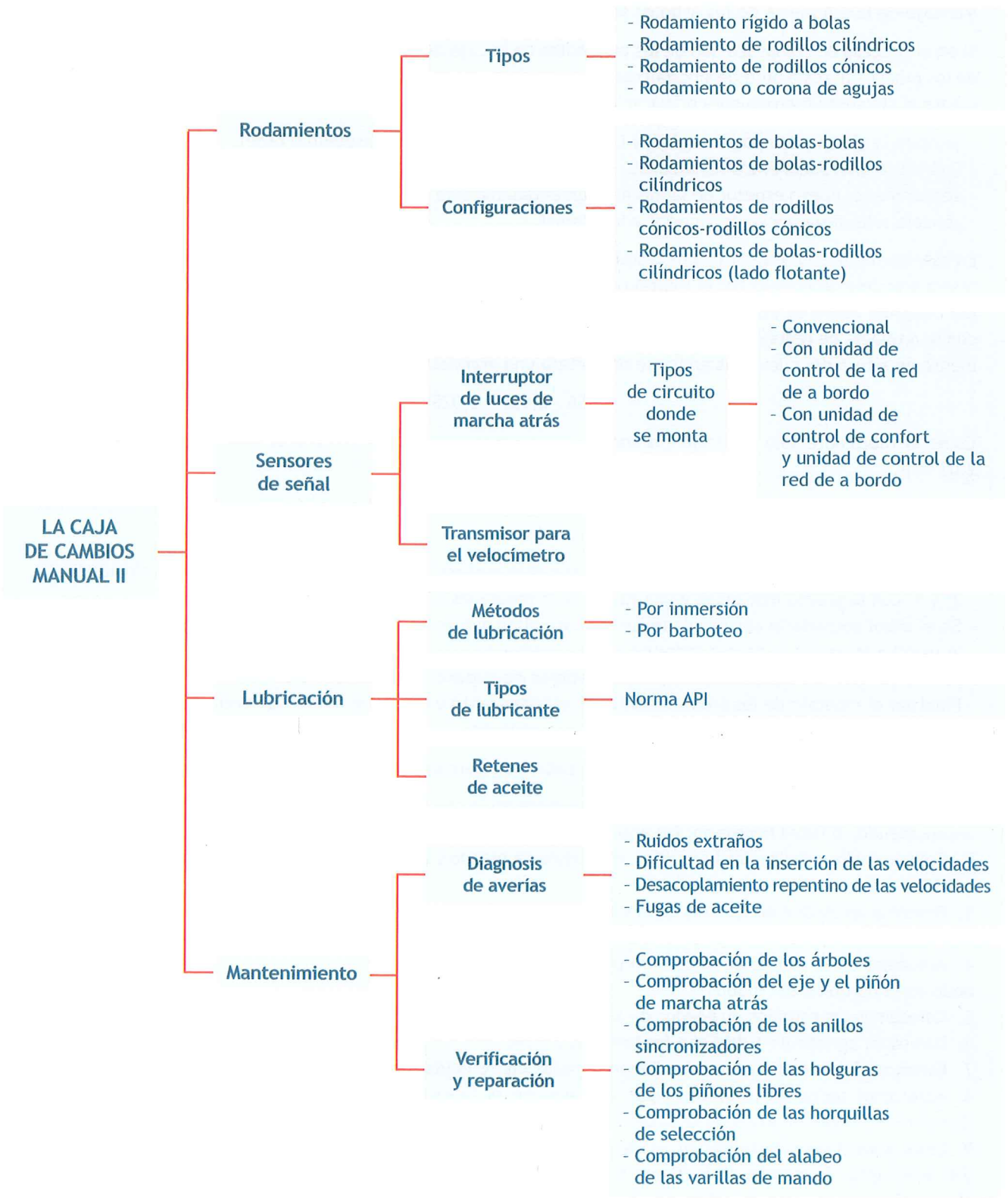
Continuamos el montaje de la caja llevando a cabo los siguientes pasos:

1. Colocamos las pistas exteriores de los rodamientos en la carcasa principal (las que se hubieran desmontado) anteponiendo, si fuera necesario, las arandelas de reglaje nuevas calculadas.
2. Colocamos los árboles, las horquillas, el módulo de mando y la arandela de reglaje del módulo (figuras 5.31 y 5.32).
3. Ponemos un cordón de silicona en el plano de junta de las carcasas.
4. Actuamos en el mando de la carcasa principal para introducir el dedo en la horquilla del módulo.
5. Colocamos los tornillos alrededor de la caja y los aproximamos.
6. Damos un apriete de 1 daN·m a los tornillos 2 y 14.
7. Giramos el árbol primario, introduciendo todas las velocidades.
8. Apretamos todos los tornillos al par indicado por el fabricante (2,4 daN·m), según el orden de la figura 5.36.
9. Colocamos el dedo de selección, el soporte del cable de selección y el interruptor de marcha atrás (figura 5.30).
10. Sustituimos el retén de salida del árbol primario.



5.36. Orden de apriete de los tornillos de la caja de cambios.

Ideas clave

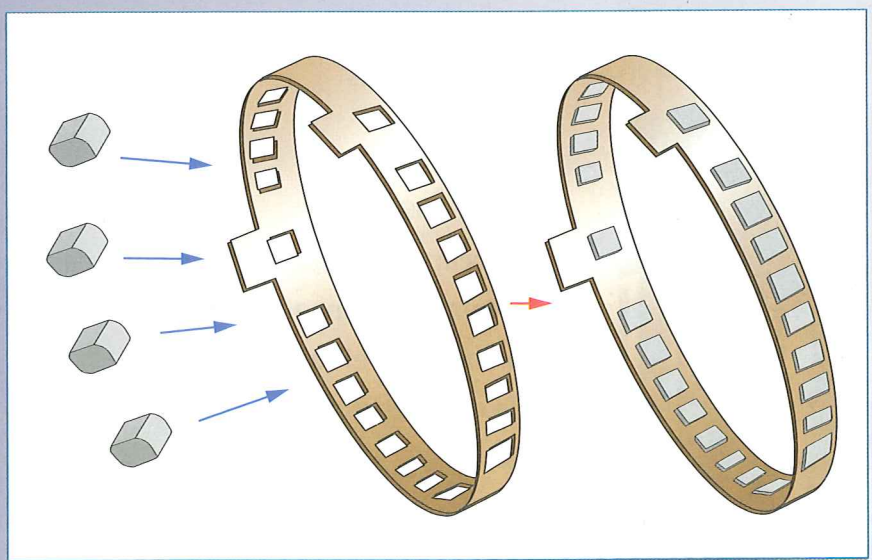

LA CAJA DE CAMBIOS MANUAL II
Rodamientos
Tipos
- Rodamiento rígido a bolas
- Rodamiento de rodillos cilíndricos
- Rodamiento de rodillos cónicos
- Rodamiento o corona de agujas
Configuraciones
- Rodamientos de bolas-bolas
- Rodamientos de bolas-rodillos cilíndricos
- Rodamientos de rodillos cónicos-rodillos cónicos
- Rodamientos de bolas-rodillos cilíndricos (lado flotante)
Sensores de señal
Interruptor de luces de marcha atrás
Tipos de circuito donde se monta
- Convencional
- Con unidad de control de la red de a bordo
- Con unidad de control de confort y unidad de control de la red de a bordo
Transmisor para el velocímetro
Lubricación
Métodos de lubricación
- Por inmersión
- Por barboteo
Tipos de lubricante
Norma API
Retenes de aceite
Mantenimiento
Diagnosis de averías
- Ruidos extraños
- Dificultad en la inserción de las velocidades
- Desacoplamiento repentino de las velocidades
- Fugas de aceite
Verificación y reparación
- Comprobación de los árboles
- Comprobación del eje y el piñón de marcha atrás
- Comprobación de los anillos sincronizadores
- Comprobación de las holguras de los piñones libres
- Comprobación de las horquillas de selección
- Comprobación del alabeo de las varillas de mando

Leves, flexibles y económicas: pastillas de fricción para anillos sincronizadores

Schaeffler KG presenta una nueva generación de anillos sincronizadores con pastillas de fricción integradas cuyo eslogan es «individuales, a pesar de estandarizadas». En lugar de adherir el material de fricción a toda la superficie de trabajo del anillo sincronizador, el nuevo concepto del que se sirven prevé la división del material de fricción en pequeñas pastillas estandarizadas que son guiadas por el anillo sincronizador. Esto supone la reducción de la necesidad de material de fricción, la reducción del peso total y el aumento de la flexibilidad en términos de optimización del efecto de fricción para varias aplicaciones.

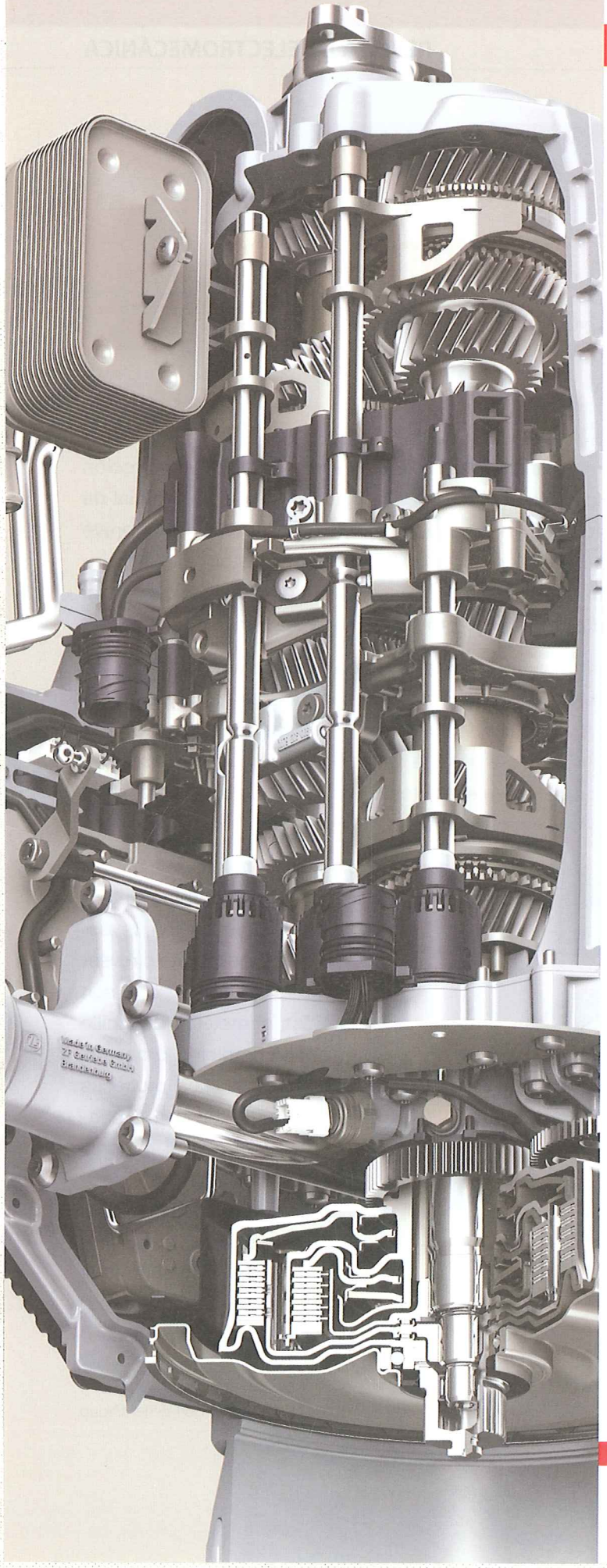
La sincronización desempeña un trabajo severo para ajustar las velocidades de los componentes de las transmisiones de los vehículos. Las velocidades de los árboles son ecualizadas durante la operación del cambio de velocidad a través de la fricción deslizante de los anillos sincronizadores, hasta asegurar el completo engranaje de la transmisión de par. El desempeño del sistema de fricción puede aumentarse y, simultáneamente, el desgaste puede reducirse usando aditivos en el aceite de la transmisión o seleccionando cuidadosamente los materiales de fricción de los anillos sincronizadores.

En anillos sincronizadores convencionales, el latón y el acero atienden a las exigencias mecánicas para el proceso de sincronización. La fricción de la superficie puede aumentarse utilizando revestimientos sinterizados por pulverización, revestimientos de molibdeno o revestimientos de carbono que son adheridos al material del anillo mediante complejos procesos de fabricación. «Los procesos utilizados para unir los materiales de fricción con el material de los anillos limitan significativamente los tipos de materiales que pueden ser utilizados». Por eso se busca un diseño que ofrezca la mayor flexibilidad posible en la combinación de materiales de fricción.



5.37. Los elementos de fricción son guiados y no están fijados firmemente en el anillo sincronizador.

Fuente: Schaeffler Group



unidad 6

Cajas de cambios manuales automatizadas

SUMARIO

- Cajas de cambios manuales automatizadas electromecánicas
- Cajas de cambios manuales automatizadas electrohidráulicas
- Cajas de cambios manuales automatizadas electroneumáticas
- Cajas de cambios manuales automatizadas de doble embrague
- Sensores de las cajas de cambios manuales automatizadas

OBJETIVOS

- Conocer los componentes de una caja de cambios manual.
- Comprender el funcionamiento y la necesidad de una caja de cambios manual.
- Calcular los esfuerzos generados y las relaciones de transmisión.

1 >> Cajas de cambios manuales automatizadas

El cambio manual automatizado consiste en una caja de cambios de tipo manual desprovista del mando externo de velocidades que accionaba el conductor y gestionada electrónicamente por medio de elementos actuadores que se encargan de accionar el embrague y engranar las marchas.

Estas cajas de cambios, aunque han recibido distintos nombres, como cajas de cambios pilotadas, robotizadas, secuenciales, semiautomáticas, etc., se caracterizan todas ellas por ser cajas de cambios manuales accionadas automáticamente.

Las cajas de cambios automatizadas constan de tres partes fundamentales:

- **Parte mecánica del cambio:** es la caja de cambios manual de la que se parte para automatizar su mando externo de selección e inserción de marchas.
- **Elementos actuadores:** son los encargados de accionar las barras de selección del mando interno de la caja de cambios. El actuador de selección elige la barra que se debe desplazar y el actuador de inserción la desplaza hacia delante o hacia atrás para insertar la marcha. También pertenece a este grupo el actuador del embrague, que se encarga de desplazar el cojinete de desembrague para realizar el proceso de embragado.
- **Circuito eléctrico de mando:** consta de sensores eléctricos y de una unidad electrónica de control (UCE) que recibe y analiza la información suministrada por los sensores y activa los actuadores eléctricos correspondientes.

En función de cómo sean los elementos actuadores, los cambios manuales automatizados se clasifican de la siguiente forma:

- **Electromecánicos:** los actuadores son motores eléctricos.
- **Electrohidráulicos:** los actuadores son cilindros hidráulicos
- **Electroneumáticos:** los actuadores son cilindros neumáticos.

Un tipo especial de cajas de cambios manuales automatizadas son las **cajas de cambios de doble embrague.**

Los cambios manuales automatizados presentan una serie de ventajas con respecto a las cajas de cambios manuales y a las cajas automáticas (que se verán en la siguiente unidad):

- Reducción del consumo con respecto a los cambios automáticos convencionales.
- Mayor duración de los elementos de la cadena cinemática.
- Mayor confort para el conductor, ya que se ve liberado de los esfuerzos de accionamiento del embrague y de los cambios.
- Intervalos de mantenimiento más largos.

Otra gran ventaja de estos sistemas de cambio automatizado es que resultan relativamente fáciles de acoplar a los sistemas de transmisión utilizados actualmente en los vehículos híbridos, debido a que estos vehículos disponen ya de un importante nivel de automatización en sus cajas de cambios.

Otros actuadores

En estas cajas figuran también otros elementos actuadores como relés de bloqueo del arranque del vehículo o sirenas que indican anomalías en el sistema.

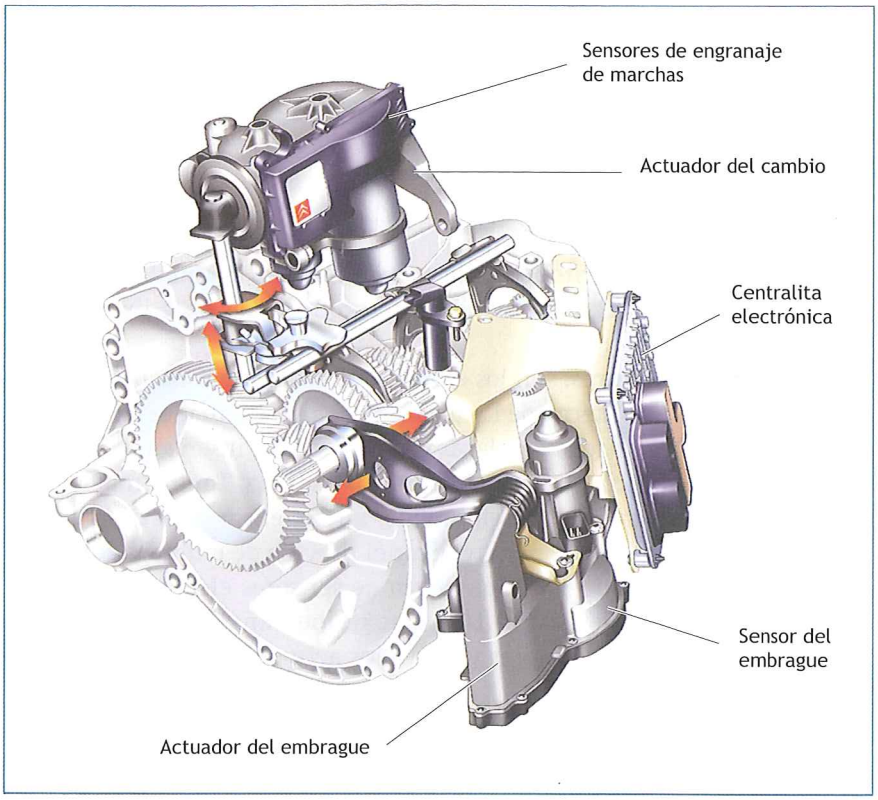
Modos de funcionamiento

Los cambios manuales automatizados tienen dos modos básicos de funcionamiento:

- **Funcionamiento automático:** la centralita electrónica que gobierna la caja de cambios automatizada selecciona en cada momento la marcha que se debe engranar tomando como referencia la información suministrada por los sensores.
- **Funcionamiento manual o secuencial:** el conductor, mediante la palanca de cambios, le indica a la centralita electrónica la marcha que tiene que engranar en cada momento de funcionamiento.

2 >> Cajas automatizadas electromecánicas

Los cambios manuales automatizados se caracterizan porque los elementos actuadores del embrague y de selección e inserción de marchas son motores eléctricos.



6.1. Caja automatizada electromecánica.

2.1 > Componentes de una caja automatizada electromecánica

Actuador del embrague

Este actuador es un motor eléctrico de corriente continua que engrana con un sector dentado para producir la desmultiplicación de giro y la multiplicación de par (figura 6.2).

El actuador del embrague eléctrico puede llevar incorporado un sistema de ajuste automático del desgaste del disco de embrague. Cuando este elemento se cambia, debe colocarse en una posición determinada y luego realizar una serie de operaciones para que la UCE que lo gobierna sepa su posición exacta.

6.2. Actuador electromecánico del embrague.

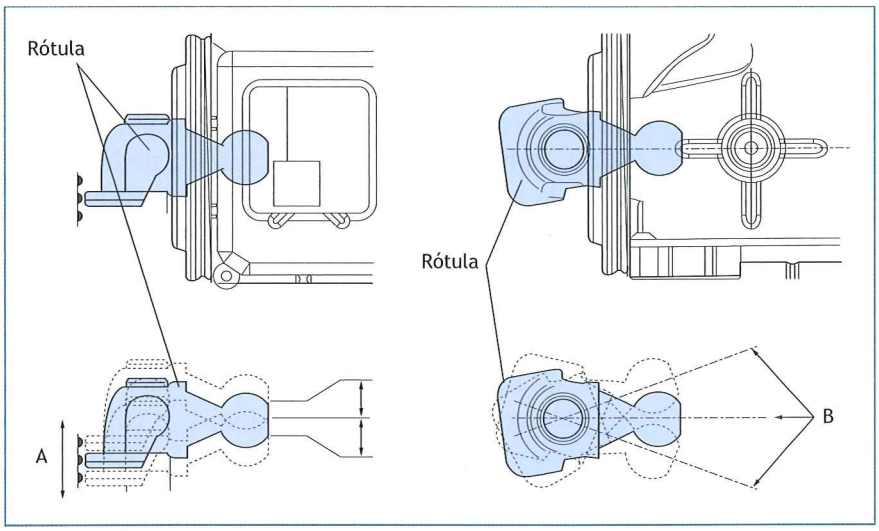
Actuador del cambio

Este actuador está formado, normalmente, por dos motores eléctricos que accionan una barra del mando interno del cambio. Esta barra tiene un saliente o prominencia llamado dedo de mando que encaja en las escotaduras o huecos de las distintas barras desplazables de accionamiento de las marchas.

Los motores eléctricos dotan a la barra de mando de dos movimientos:

- Un movimiento rectilíneo hacia delante y hacia atrás que avanza hasta que un saliente de la barra de mando encaja en una de las escotaduras que poseen las barras desplazables solidarias a los sincronizadores.
- Un movimiento giratorio en los dos sentidos que permite que la barra desplazable seleccionada se desplace hacia delante o hacia atrás.

El actuador eléctrico de la figura 6.4 dispone de dos motores eléctricos que se encargan de desplazar la barra de mando gracias a su unión con la rótula. Esta barra presenta tres posiciones lineales (A) y tres posiciones angulares (B) que, combinadas entre sí, engranan las distintas marchas.



6.4. Movimientos del actuador del cambio de una caja automatizada electromecánica.

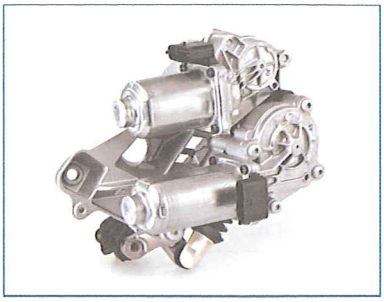
Los motores eléctricos empleados en el actuador transmiten su giro a la barra de mando mediante sistemas de desmultiplicación, brazos de palanca, tornillos sinfín, etc. Así se consigue transformar el movimiento circular en movimiento lineal y, al mismo tiempo, multiplicar el esfuerzo generado por dichos motores.

Estos motores, al ser de corriente continua, pueden moverse en los dos sentidos de giro y variar su velocidad, dependiendo del tipo de mando eléctrico que les suministre la UCE.

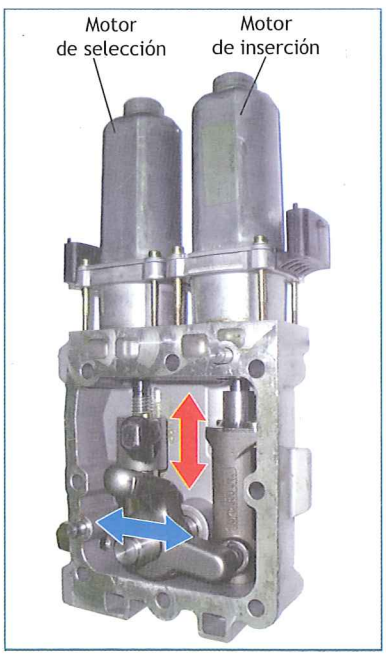
Circuito eléctrico de mando

El circuito de una caja automatizada electromecánica está formado por:

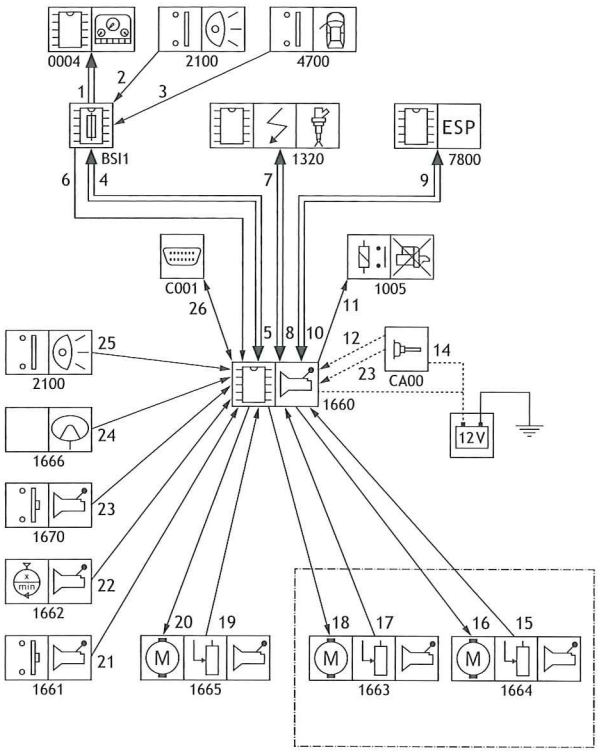
- **Sensores:** transforman en señales eléctricas distintas magnitudes físicas que luego envían a la UCE. Estos sensores pueden ser específicos del circuito eléctrico del cambio o pueden pertenecer a otro circuito electrónico y ser utilizados por la UCE del cambio mediante las conexiones CAN bus.
- **UCE o unidad de control electrónico:** recibe las informaciones suministradas por los sensores y calcula la marcha que se debe engranar en cada momento comparando la información recibida con la almacenada en su memoria.



6.3. Actuador del cambio de un cambio automatizado electromecánico.



6.5. Otro tipo de actuador del cambio presente en los cambios electromecánicos.



1660 UCE del cambio
2100 Interruptores del pedal de frenos
1666 Palanca de mando del cambio en el volante
1670 Palancas de selección del cambio
1662 Sensor de giro de entrada al cambio
1661 Selector de velocidad
1665 Actuador del embrague con su sensor de posición
1663 1664 Actuadores de selección e inserción de velocidades con sus sensores correspondientes
1005 Relé de prohibición del motor de arranque
1320 UCE del motor
7800 UCE de la estabilidad ESP
BSI1 UCE de control inteligente del vehículo
0004 UCE del cuadro de instrumentos

6.6. Esquema del circuito eléctrico de mando de un cambio automatizado electromecánico.

En el esquema del circuito eléctrico de mando de la figura 6.6 se muestran los sensores, que son los elementos enumerados de los que sale una flecha simple; la UCE del cambio; los actuadores, que son los elementos que reciben una flecha desde la UCE, y las conexiones con otras UCE del vehículo mediante el CAN bus de datos, marcadas con flechas de doble línea.

2.2 > Funcionamiento de una caja automatizada electromecánica

El funcionamiento de este tipo de cambio en modo automático depende de la posición de la mariposa de gases, de la velocidad del vehículo, de la carga motor y de la posición del pedal acelerador.

En función de estos parámetros y de las curvas características grabadas en la memoria interna de la UCE, la unida de control decide qué marcha seleccionar en cada uno de los momentos de funcionamiento.

Las curvas características de paso de velocidades se denominan leyes de paso y en ellas aparecen los umbrales de cambio de velocidad, tanto para el aumento como para la disminución. Estas leyes de paso son cambiantes y se adaptan al estilo de conducción, al perfil de la carretera, al estado del motor, etc.

Existen además leyes específicas para determinados momentos de uso del vehículo: ley de calentamiento del motor, ley de funcionamiento en nieve, ley sport, ley modo de emergencia, etc.

El proceso del cambio de marchas es el siguiente:

1. La UCE activa el actuador del embrague haciéndolo girar, lo que produce el desembragado. Al mismo tiempo la UCE del motor reduce el régimen del motor y, en este momento, el actuador del cambio se pone en funcionamiento para engranar la marcha solicitada por la UCE del cambio.
2. A continuación, la UCE activa el actuador del embrague haciéndolo girar ahora en el sentido contrario y soltando el diafragma para que se produzca el embragado. En este momento la marcha engranada aparece marcada en el cuadro de instrumentos.

Estos cambios automatizados activan avisos luminosos en el cuadro de mandos, y sonoros en forma de pitidos continuos o intermitentes en caso de que aparezca una avería o algún funcionamiento no permitido en el sistema. Estos pitidos se suelen activar cuando se producen una serie de estados de funcionamiento tales como el sobrecalentamiento del embrague, la inserción de la marcha atrás, la apertura de una puerta con el motor arrancado, o para indicar que, con el motor parado, no se ha activado el freno de estacionamiento.

3 >> Cajas automatizadas electrohidráulicas

En este tipo de cambio automatizado el accionamiento del embrague y del cambio de marchas lo realizan cilindros de accionamiento hidráulico.

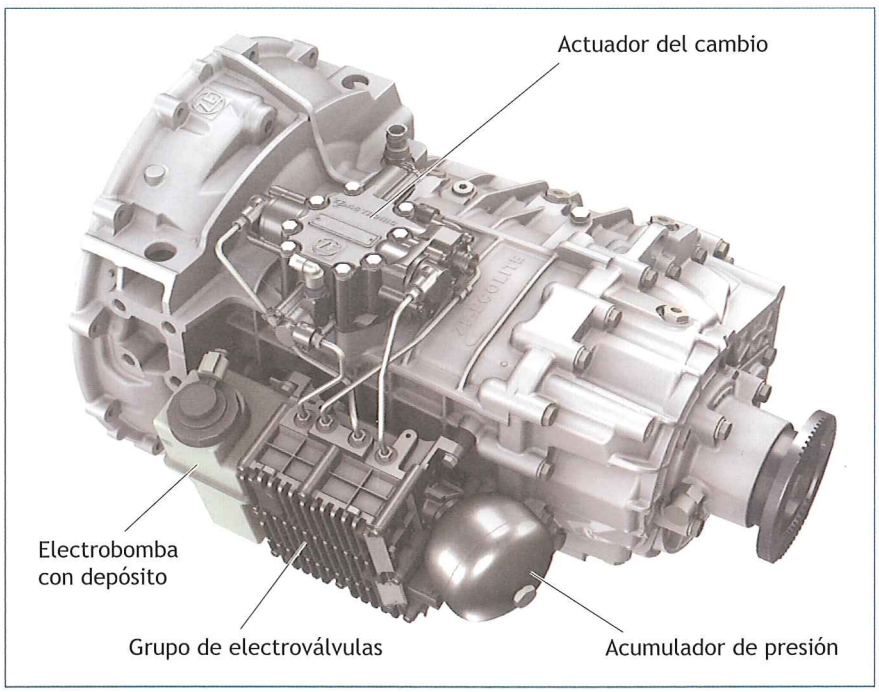
Los componentes principales de las cajas automatizadas electrohidráulicas son los siguientes:

- Circuito hidráulico.
- Actuadores.
- Circuito eléctrico de mando.

3.1 > Componentes de una caja automatizada electrohidráulica

Circuito hidráulico

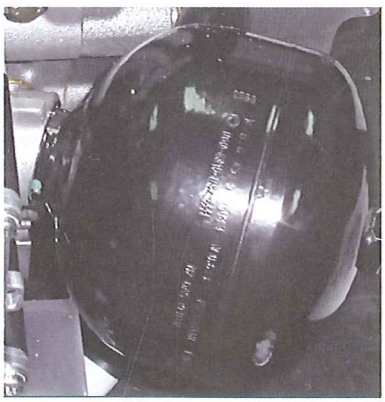
Este circuito está compuesto por una serie de elementos que generan presión hidráulica, la regulan y la distribuyen a los cilindros actuadores del embrague y de selección e inserción de marchas (actuador del cambio).



6.7. Elementos del circuito hidráulico de un cambio manual automatizado electrohidráulico.

El circuito hidráulico de una caja de cambios automatizada electrohidráulica está formado por los siguientes elementos (figura 6.7):

- **Acumulador de presión:** está hecho de chapa de acero y en su interior hay una membrana elástica que separa un gas, generalmente nitrógeno, del aceite a presión que le llega del circuito por su toma de alimentación. Su función es almacenar cierta cantidad de aceite a presión con el fin de tener una reserva de presión cuando la electrobomba se para. En función de la capacidad del acumulador y de la presión de tarado del gas que hay en su interior, el circuito podrá realizar un determinado número de cambios de marchas sin que la presión descienda del valor mínimo.



6.8. Acumulador de presión hidráulica.

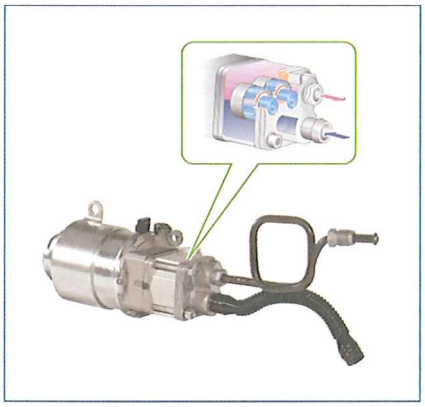
La electrobomba

Como dato orientativo, las electrobombas de las cajas electrohidráulicas suministran un caudal de 0,7 l/min y presiones de entre 40 y 60 bares.

- **Electrobomba:** suele ser una bomba de engranajes movida por un motor eléctrico. Es la encargada de suministrar aceite a presión al circuito, alimentando las electroválvulas que gobiernan cada uno de los cilindros hidráulicos de los actuadores. El motor eléctrico se pone en funcionamiento cuando la centralita electrónica lo determina.
- **Electroválvulas:** son las válvulas encargadas de conducir el aceite a presión a las cámaras de los cilindros hidráulicos. Son accionadas eléctricamente por la UCE. Cada circuito hidráulico tendrá una determinada cantidad de electroválvulas que pueden ser de varios tipos:
  - **De conmutación:** también se denominan *on/off*, puesto que tienen dos vías y dos posiciones de funcionamiento.
  - **Proporcionales de presión:** regulan la presión en el interior del cilindro de acuerdo a la intensidad de corriente con que son alimentadas.
  - **Proporcionales de caudal:** regulan el caudal de entrada dependiendo de la corriente de alimentación.

Gran flexibilidad

Con las válvulas proporcionales de caudal y de presión se consigue dotar a este cambio automatizado de una gran flexibilidad pues, dependiendo del estado de funcionamiento del vehículo, pueden realizarse los cambios de marcha más deprisa o más despacio dependiendo de las necesidades de cada momento.



6.9. Electrobomba compuesta por una bomba hidráulica de engranajes exteriores accionada por un motor eléctrico.

6.10. Grupo de electroválvulas del circuito hidráulico de un cambio automatizado electrohidráulico.

Actuadores

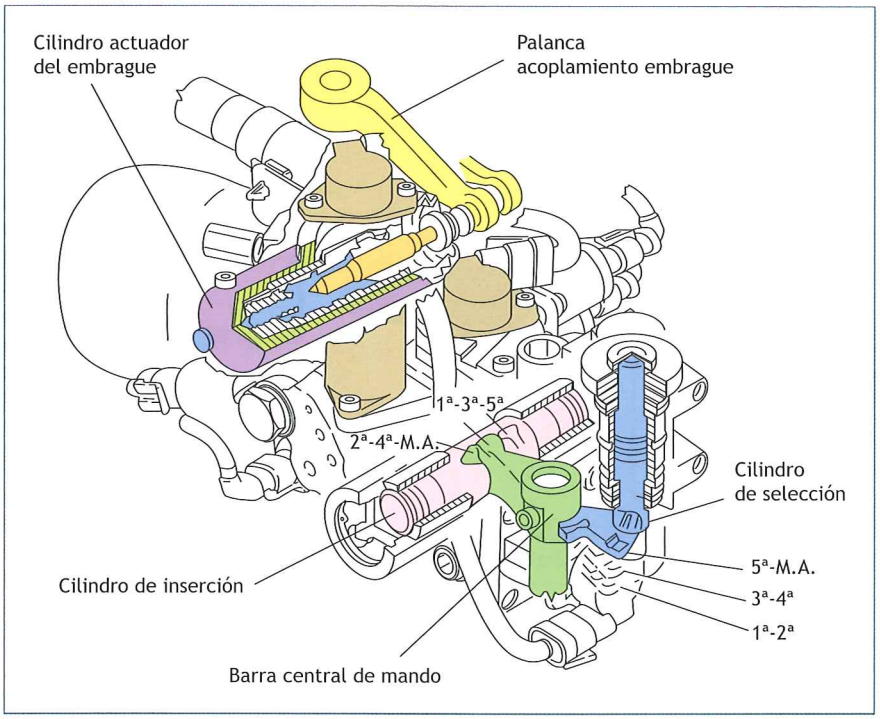
Los elementos actuadores que se utilizan en las cajas de cambio automatizadas electrohidráulicas son los siguientes:

- **Actuador del embrague:** es un cilindro de simple efecto cuyo émbolo de accionamiento retorna a su posición inicial gracias a la fuerza que ejerce el diafragma del embrague. Este cilindro puede aparecer con dos tipos de montaje diferentes:
  - Concéntrico al eje de entrada del cambio con cojinete de desembrague en la misma unidad (figura 6.11).
  - Exterior a la carcasa cuyo émbolo empuja la palanca de accionamiento del embrague.
- **Actuador del cambio:** se encarga de mover la barra de mando interno que un saliente presenta en uno de sus extremos y que encaja en los distintos huecos de los que están provistas las barras desplazables del mando interno del cambio de marchas. Esto se consigue dotando a la barra de mando de un movimiento giratorio en los dos sentidos (inserción) y de otro lineal, también en los dos sentidos (selección).

6.11. Actuador hidráulico del embrague concéntrico al eje de entrada.

Los distintos actuadores del cambio presentes en los cambios automatizados hidráulicamente pueden presentar diversas disposiciones constructivas dependiendo del número de cilindros hidráulicos que se utilicen.

El actuador del cambio de la siguiente figura consta de dos cilindros de doble efecto. El cilindro de selección presenta tres posiciones estables y su función es elevar la barra de mando de acuerdo a la pista que queramos seleccionar (1^a-2^a, 3^a-4^a, 5^a-M.A.).



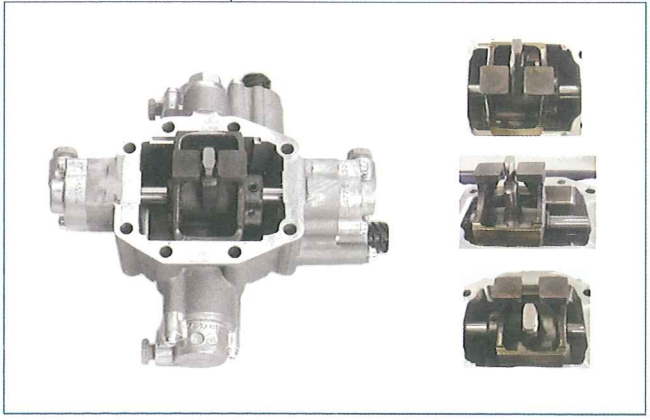
6.12. Cilindros de accionamiento del cambio de velocidades y del embrague del cambio automatizado.

El cilindro de inserción es también de doble efecto y su función es girar la barra de mando en un sentido o en otro. Para realizar esta función, el émbolo, al desplazarse en el interior del cilindro, mueve un dedo solidario a la barra de mando provocando el giro de la misma.

Para conseguir que los émbolos de los cilindros de doble efecto se desplacen en uno u otro sentido, las electroválvulas distribuyen el aceite a presión a una cámara y ponen en comunicación a la cámara opuesta con el depósito.

En el actuador que aparece en la figura 6.13, una leva es solidaria al émbolo del cilindro de selección, que se desplaza lateralmente adoptando cuatro posiciones estables para seleccionar cada una de las cuatro barras que presenta este cambio.

Una vez adoptada una de estas cuatro posiciones, la leva puede ir hacia delante o hacia atrás cuando se acciona el émbolo de inserción, desplazando la barra seleccionada para introducir la marcha.

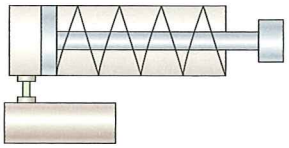


6.13. Actuador de un cambio automatizado electrohidráulico con una leva.

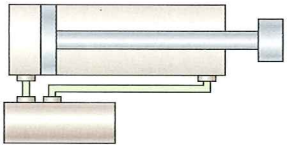
Cilindros de simple y doble efecto

Existen dos tipos de cilindros actuadores:

- **Cilindros de simple efecto:** la salida del vástago se realiza alimentando con aceite a presión una cámara del cilindro y la entrada del vástago es realizada por un muelle colocado en la cámara opuesta.

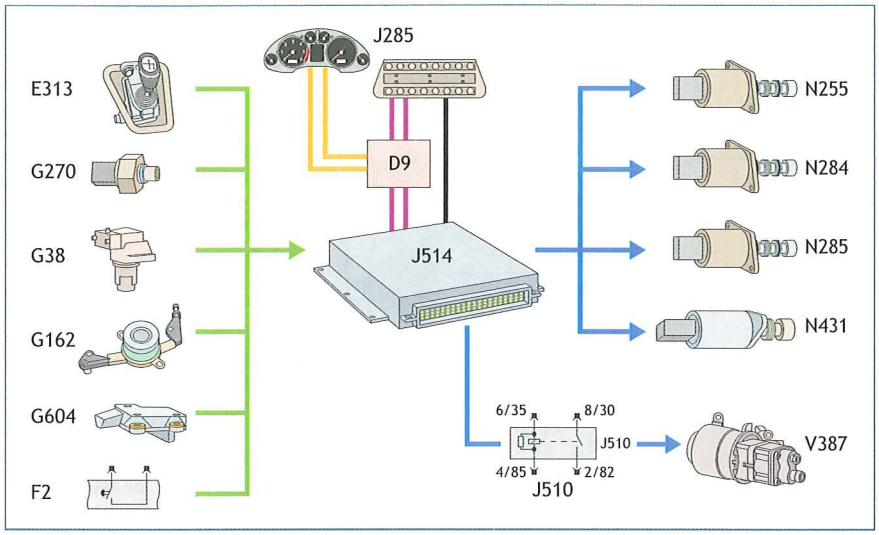


- **Cilindros de doble efecto:** para que se produzca la salida y entrada del vástago se tiene que conectar la presión del circuito a una de las cámaras del cilindro y la opuesta, al depósito.



Circuito eléctrico de mando

El circuito eléctrico de mando está formado, como en el resto de los cambios automatizados, por los sensores que suministran información a la unidad electrónica de control (UCE) para que esta comande correctamente los elementos actuadores encargados de realizar el engranaje de las distintas marchas, y por las conexiones CAN bus, por donde se realizan estas comunicaciones.



6.14. Componentes del circuito electrónico de un cambio automatizado electrohidráulico.

Los sensores y la unidad de control electrónica son similares a los utilizados en las cajas automatizadas electromecánicas.

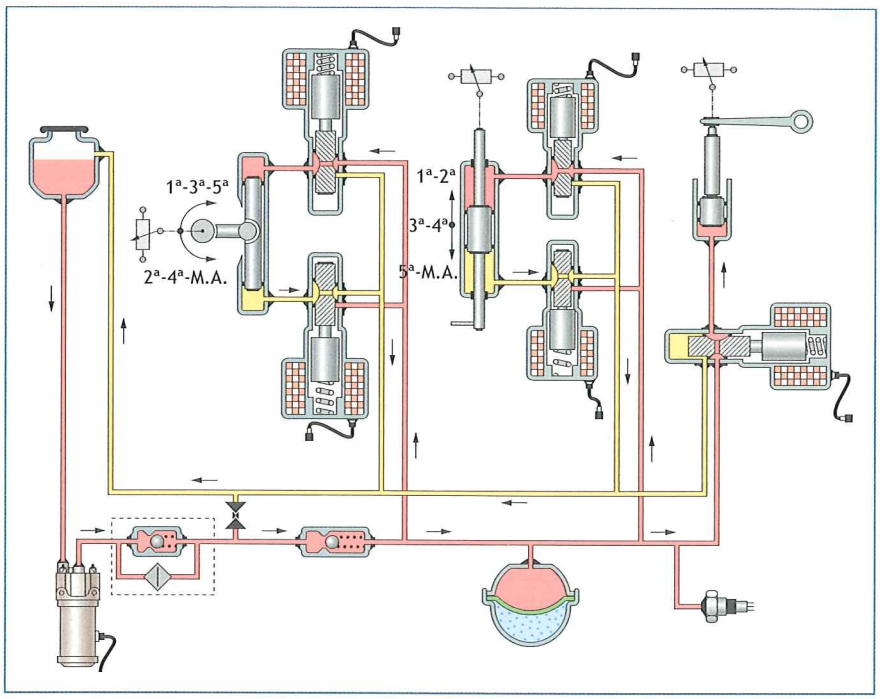
En este circuito, las electroválvulas y el motor eléctrico de la bomba son los actuadores. Dependiendo del tipo de electroválvulas que sean, la unidad de control electrónica suministra un tipo determinado de corriente continua para que estén abiertas el tiempo calculado. La electrobomba se acciona mediante un relé que activa la UCE, alimentando así eléctricamente el motor de dicha bomba.

3.2 > Funcionamiento de una caja automatizada electrohidráulica

El proceso del cambio de marchas en el circuito hidráulico funciona de la siguiente forma:

1. En el proceso del cambio de marchas, la electroválvula del embrague se excita en primer lugar y el aceite alimenta el cilindro de simple efecto del actuador del embrague, saliendo así el vástago y produciéndose el embragado.
2. Después la UCE excita una de las dos electroválvulas que comandan el cilindro de selección, consiguiendo que se desplace el émbolo a una posición estable, la correspondiente a la barra de 1ª-2ª, 3ª-4ª o 5ª-M.A.
3. Una vez seleccionada la pista, la UCE alimenta una de las electroválvulas del cilindro de inserción, provocando la inserción de una de las dos velocidades de la pista seleccionada.

En la figura 6.15 puede verse un esquema del circuito hidráulico de uno de estos cambios formado por dos cilindros de doble efecto y uno de simple efecto. El cilindro del centro es el de selección, que tiene tres posiciones para las velocidades 1ª-2ª, 3ª-4ª y 5ª-M.A. El cilindro de la izquierda es el de inserción, con dos posiciones: una en un extremo para las velocidades 1ª-3ª-5ª y la otra en el opuesto para 2ª-4ª-M.A. El cilindro de la derecha es el cilindro de simple efecto de accionamiento del embrague.

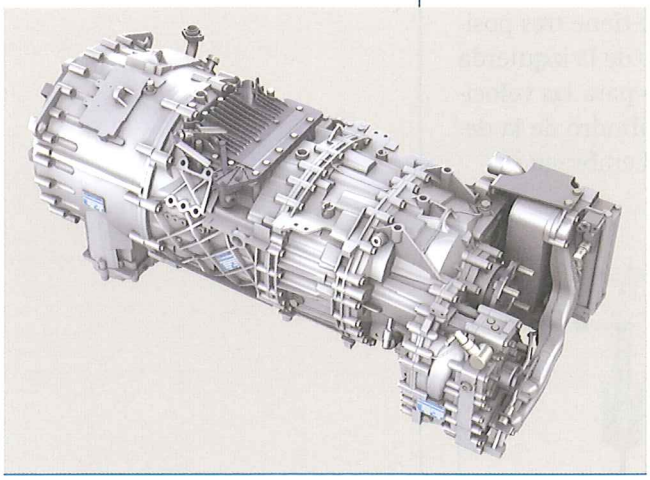


6.15. Circuito hidráulico de un cambio automatizado electrohidráulico.

Este proceso de cambio de marchas, al estar gestionado eléctricamente, presenta varios modos de funcionamiento:

- **Arranque del motor:** se puede realizar con la marcha engranada; la UCE coloca la caja en posición de punto muerto para poder insertar las marchas automáticamente o bien a petición del conductor.
- **Puesta en marcha del vehículo:** la salida en movimiento del vehículo se puede realizar, dependiendo del tipo de caja, en las velocidades 1ª, 2ª y marcha atrás. Para que el sistema las engrane, debe estar pisado el pedal del freno. Al acelerar, el circuito hidráulico va cerrando progresivamente el embrague para mover el vehículo.
- **Cambio de marchas en modo manual:** el conductor indica al sistema qué velocidad tiene que engranar mediante unos pulsadores presentes en el volante o la palanca de cambios. Si la marcha solicitada se encuentra dentro de los límites de revoluciones del motor grabados en la memoria de la UCE, el sistema procede a insertarla.
- **Cambio de marchas en modo automático:** la UCE tiene grabados unos mapas de funcionamiento en los que tiene memorizada la marcha óptima del vehículo según los parámetros de posición del pedal acelerador, régimen del motor y velocidad del vehículo.

4 >> Cajas automatizadas electroneumáticas

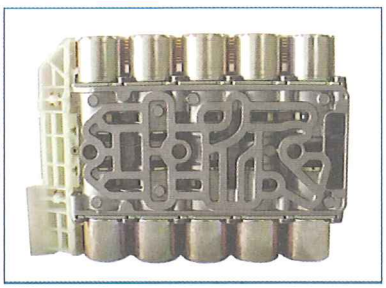


6.16. Cambio automatizado electro-neumático.

En las cajas automatizadas electroneumáticas el accionamiento del embrague y del cambio de velocidades se realiza mediante cilindros neumáticos. Se suelen utilizar en vehículos industriales, que disponen de aire comprimido y de otros elementos que también funcionan con aire a presión.

4.1 > Componentes de una caja automatizada electroneumática

Los componentes principales de las cajas automatizadas electroneumáticas son el circuito neumático y el circuito eléctrico de mando. Ambos son similares a los de las cajas automatizadas hidráulicas, con la diferencia de que los cilindros y las electroválvulas son de accionamiento neumático.



6.17. Grupo de electroválvulas del circuito neumático de un cambio automatizado electroneumático.

6.18. Actuador neumático del embrague.

6.19. Conjunto de cilindros actuadores de un cambio automatizado electroneumático.

Circuito neumático

Este circuito se compone de los siguientes elementos que alimentan, regulan y distribuyen aire a presión que llega a los cilindros actuadores del embrague y de la selección e inserción de marchas:

- **Compresor**: es el elemento encargado de generar el aire comprimido. No pertenece propiamente a este circuito, pues también se encarga de generar presión para otros circuitos neumáticos presentes en los vehículos industriales, tales como los frenos o las suspensiones neumáticas. La alimentación neumática de este circuito suele realizarse a partir de un depósito de aire comprimido llamado calderín.
- **Electroválvulas** (figura 6.17): el circuito neumático, igual que los cambios automatizados hidráulicos, posee una serie de válvulas y electroválvulas gobernadas por la UCE encargadas de conectar el aire a presión con los actuadores del cambio y del embrague. Las más utilizadas son las de conmutación de dos vías y dos posiciones.
- **Actuador del embrague** (figura 6.18): está compuesto por un cilindro de simple efecto que se alimenta con aire a presión en su cámara, produciendo la salida del émbolo y el desembragado. El retroceso del émbolo tiene lugar poniendo en comunicación la cámara del cilindro con la atmósfera; así el conjunto de presión del embrague ejerce fuerza sobre el vástago del émbolo produciendo su entrada en el cilindro.
- **Actuador del cambio** (figura 6.19): está formado por varios cilindros neumáticos. Uno de ellos se encarga de seleccionar la barra que se debe desplazar y los demás accionan las barras desplazables para insertar la velocidad deseada.

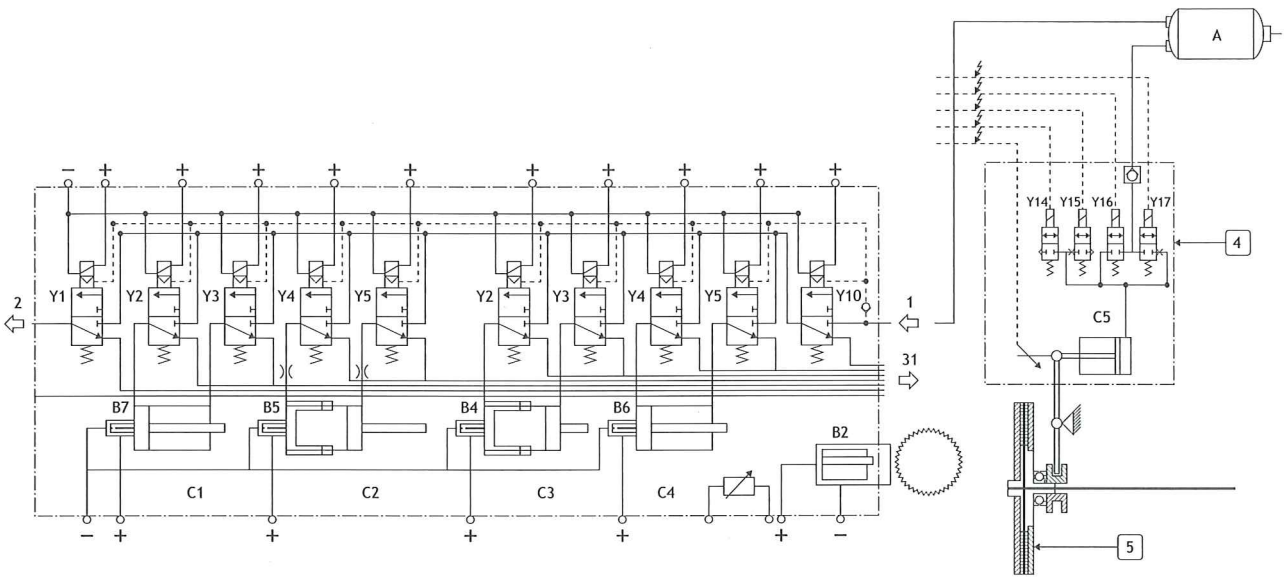
Circuito eléctrico de mando

El circuito eléctrico de mando está formado por sensores, actuadores, UCE y conexiones CAN bus con otras unidades electrónicas presentes en el vehículo. Este circuito es muy similar al del cambio automatizado hidráulico que hemos estudiado antes.

4.2 > Funcionamiento de una caja automatizada electroneumática

El proceso del cambio de velocidades en los cambios automatizados neumáticos es similar al de los cambios automatizados hidráulicos.

Cuando el conductor desplaza la palanca de mando o las levas del volante, la UCE recibe esta información y, con las suministradas por los distintos sensores que intervienen en el proceso (régimen del motor y de entrada al cambio, puerta del conductor abierta, etc.), determina qué electroválvula ha de activarse para conseguir desplazar los émbolos del embrague y de los actuadores del cambio que engranarán la velocidad correspondiente.



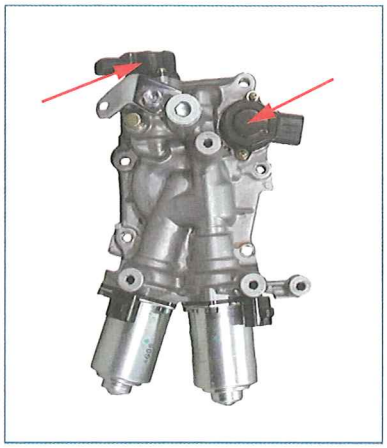
C1 C4 Cilindros de accionamiento del cambio
C5 Cilindro de accionamiento del embrague
B4 B7 Sensores de posición de los cilindros
B2 Sensor de giro del eje de entrada
A Calderín de alimentación de aire comprimido
Y1 Y10 Electroválvulas de mando de los cilindros C1-C4
Y14 Y17 Electroválvulas correspondientes al cilindro C5

6.20. Circuito de accionamiento de un cambio automatizado neumático.

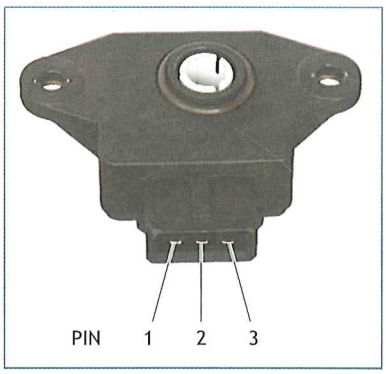
Como se puede ver en la figura 6.20, para alimentar el cilindro de simple efecto que acciona al cojinete de desembrague hay cuatro electroválvulas. La UCE del sistema las puede alimentarlas de dos en dos para conseguir que el accionamiento del embargue sea más o menos rápido. Así, el vehículo puede arrancar más o menos despacio para adaptarse mejor a las condiciones del terreno y de la carga que transporta.

Una vez engranada la marcha, el sensor de posición de los actuadores informa a la UCE de que el proceso se ha realizado correctamente.

Este tipo de caja automatizada presenta varias fases de funcionamiento comandadas por la UCE: arranque del motor, puesta en marcha del vehículo, marcha superlenta, funcionamiento en fase degradada motivado por algún fallo en los elementos que componen el cambio, etc.



6.21. Actuador del cambio con los sensores de posición indicados.



6.22. Potenciómetro con sus pines indicados.

5 >> Sensores utilizados en las cajas de cambios manuales automatizadas

Para poder dirigir los elementos actuadores, la UCE necesita recibir y procesar distintas informaciones suministradas por unos sensores.

Los dos tipos de sensores básicos comunes a todas las cajas manuales automatizadas son los de posición y recorrido, que informan del movimiento de los elementos actuadores, y los del régimen de giro, que informan de la velocidad de giro de los ejes del cambio.

5.1 > Sensor de posición y recorrido de los actuadores del cambio y del embrague

Los actuadores del cambio suelen utilizar dos sensores de posición, dado que realizan dos movimientos, uno de selección y otro de inserción.

Por su naturaleza, los sensores que se encargan de transmitir la posición y el recorrido de los actuadores del cambio pueden ser potenciómetros, de efecto Hall, inductivos o PLCD.

Potenciómetros

Estos sensores son, básicamente, una resistencia variable que actúa como divisor de tensión. Esta resistencia está alimentada por una tensión constante y sobre ella se desplaza un cursor móvil. Al variar la posición de este cursor se obtiene una tensión variable entre la salida del cursor y la alimentación de la resistencia fija.

Como hemos visto, el actuador de selección se encarga de girar la barra de mando y el actuador de inserción, de desplazarla linealmente hacia delante y hacia atrás. Estos movimientos provocan el desplazamiento del cursor de dos potenciómetros, uno que indica la barra seleccionada y el otro la marcha engranada.

Los potenciómetros utilizados en el actuador del cambio funcionan como divisores de tensión, alimentados, generalmente, con una tensión de 5 V.

Técnica

Comprobación del funcionamiento correcto de un potenciómetro

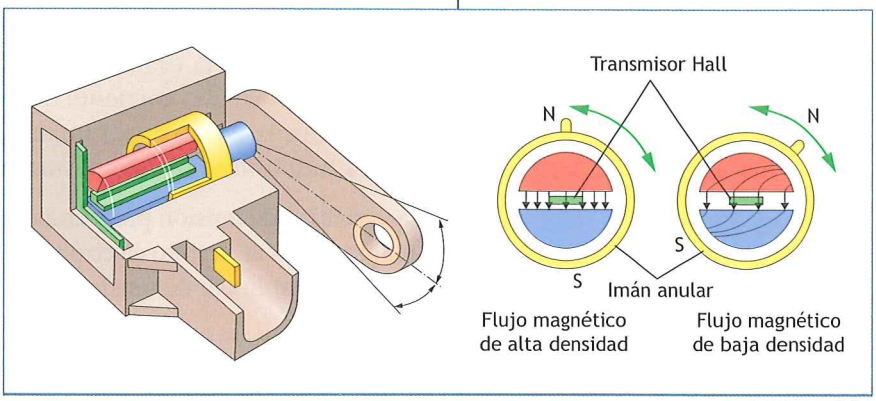
•• Para realizar la comprobación del funcionamiento de un potenciómetro necesitamos un voltímetro:

- **Comprobación de continuidad entre los tres pines del potenciómetro:** con el multímetro en la posición de medición de resistencia (ohmnios), se van colocando las puntas entre los pines 1-3 (resistencia máxima fija), 1-2 y 2-3 (resistencia variable al mover el cursor).
- **Comprobación de alimentación del sensor:** con el multímetro en la posición de medición de tensión (V) y el sensor desenchufado del cableado, se comprueba, en el conector del cableado del vehículo, que entre los pines 1-3 se da la tensión de alimentación indicada por el fabricante (normalmente 5 V).
- **Comprobación de tensión de salida del sensor:** con el multímetro en la posición de medición de tensión (V), se sitúa la pinza roja en el pin 2 y la pinza negra en una masa del vehículo. A continuación se desplaza el cursor y la tensión medida tiene que incrementarse desde un valor dado hasta los 5 V.

Sensores de efecto Hall

Los potenciómetros tienen la gran desventaja de que se produce un desgaste mecánico de las pistas por donde se desplaza su cursor, lo que provoca que la información que proporcionan pueda ser errónea. Para evitar esto se utilizan los sensores de efecto Hall, que están exentos de dicho desgaste al no existir contacto mecánico entre sus componentes.

Los sensores Hall se basan en el efecto que produce un campo magnético generado por un imán sobre la corriente eléctrica que pasa por una pequeña placa de semiconductor llamada transmisor Hall. El campo hace que las cargas eléctricas que circulan por la placa se desplacen hacia los extremos transversales de la misma, generándose una tensión entre dichos extremos del orden de milivoltios, la llamada tensión de Hall.



6.23. Sensor del tipo Hall que mide desplazamientos lineales.

Así, en el sensor se puede colocar el elemento desplazable que se quiere medir solidario al imán que actúa sobre la placa de semiconductor. El movimiento de este elemento producirá una variación del campo magnético que atraviesa al circuito Hall, generando en el sensor una señal de tensión proporcional al desplazamiento.

Los sensores Hall que aparecen en las cajas de cambios automatizadas son de dos tipos:

- Aquellos que informan de la rotación de los motores eléctricos del actuador del cambio. Puede haber dos sensores Hall por cada motor, uno que informa del giro del motor actuador y otro de la velocidad de dicho giro. Este tipo de sensores se utilizan también para medir la rotación de los ejes presentes en los cambios automatizados.
- Aquellos que informan del desplazamiento lineal y de la rotación de la barra de mando accionada por el actuador hidráulico. La barra de mando, al moverse, desplaza una palanca giratoria un ángulo determinado del que informa el sensor.

Sensores inductivos

Son sensores de posición sin contacto formados por una bobina de núcleo hueco por donde se desplaza un núcleo macizo móvil (figura 6.24). Este núcleo móvil esta unido al émbolo de los cilindros neumáticos o hidráulicos de los actuadores del cambio.

La unidad de control alimenta a la bobina con una corriente alterna de alta frecuencia. Cuando se mueve el actuador del cambio, este mueve a su vez el núcleo del sensor, que se desplaza en el interior de la bobina variando la inductancia de la misma. Esta variación es convertida en una señal de tensión eléctrica que informa a la unidad de control sobre la posición del émbolo del actuador.

Fallo en los sensores

Si la señal suministrada por estos sensores falla, la UCE se pone en funcionamiento degradado, un modo de emergencia que hace que el cambio se coloque en punto muerto o en una determinada velocidad para evitar daños importantes.

6.24. Sensor inductivo.

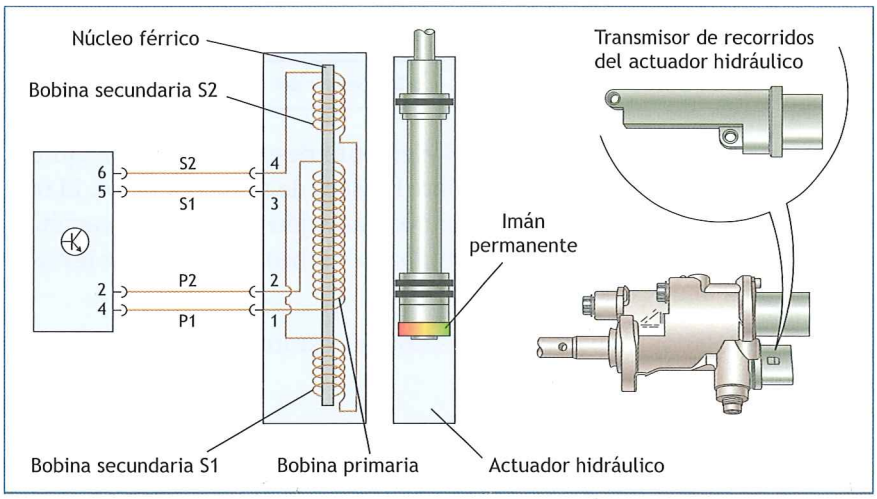
Sensores PLCD

Este sensor es de tipo inductivo, trabaja sin contactos y detecta un recorrido lineal con ayuda de un imán permanente.

Consta de un núcleo de hierro donde van enrolladas tres bobinas: una bobina grande en el centro (bobina primaria) y otras dos bobinas cortas conectadas en serie en los dos extremos (bobinas secundarias). Estas dos últimas, al estar conectadas en serie, tienen sus fases invertidas.

La bobina primaria es alimentada eléctricamente y, al pasar la corriente por ella, induce una corriente en las bobinas secundarias. Esta inducción varía según la posición del imán permanente solidario al émbolo del actuador hidráulico cuyo desplazamiento queremos medir.

La variación de tensión provocada por el imán en cada una de las bobinas es analizada por el circuito electrónico del sensor, el cual transforma el resultado en una señal lineal de tensión continua que indica la posición del émbolo.



6.25. Conexión eléctrica del sensor PLCD y montaje en el actuador.

5.2 > Sensores del régimen de giro de los ejes que componen el cambio automatizado

Los cambios automatizados necesitan saber la velocidad de giro del eje de entrada al cambio para, junto con la información de la velocidad del vehículo y de las revoluciones de giro del motor, seleccionar la marcha que se debe engranar.

Además, con las informaciones del giro del motor y del eje primario de la caja de cambios (solidario con el disco de embrague) se determina el resbalamiento y el momento de acoplamiento del embrague.

Los sensores que recogen estos datos pueden ser de tipo inductivo o de efecto Hall; si bien, actualmente se utilizan más los últimos debido a su mayor exactitud en la medición del régimen de giro.

Por otro lado, colocando dos sensores de efecto Hall de manera que exploren la misma pista imantada, la UCE puede calcular si el eje en cuestión gira en un sentido o en el contrario.

6.26. Sensor doble de efecto Hall.

5.3 > Sensores de la palanca de cambios

El cambio automatizado es dirigido por el conductor, básicamente, desde la palanca de cambios o desde levas presentes en el volante. Los sensores encargados de informar a la UCE de la posición de estos elementos suelen ser microinterruptores o potenciómetros, aunque se tiende cada vez más a utilizar sensores sin desgaste de tipo Hall.

Posiciones de las palancas de cambios semiautomáticas

Las palancas de cambios de las cajas automatizadas suelen presentar las siguientes posiciones:

- «P»: estacionamiento (parking).
- «R»: marcha atrás *(reverse)*.
- «N»: punto muerto *(neutral)*.
- «D»: marcha adelante *(drive)*.
- «M»: manual *(manual)*:
  - «+»: aumentar marcha
  - «-»: disminuir marcha

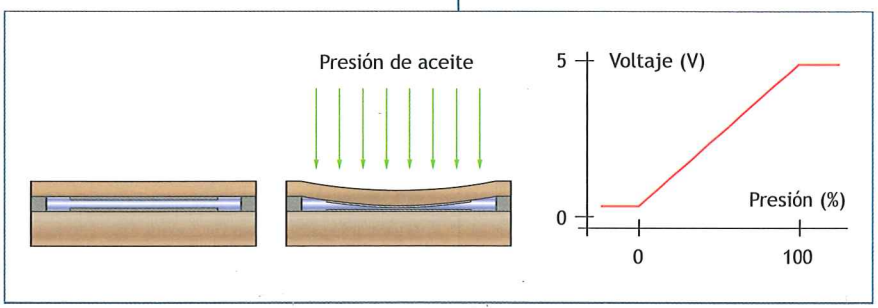
5.4 > Otros sensores

Las distintas cajas de cambios manuales automatizadas pueden tener otros sensores que no son comunes a todas ellas. A continuación se describen los más habituales.

Sensor de presión

Estos sensores se encuentran en las cajas automatizadas electrohidráulicas y le indican a la UCE la presión del circuito hidráulico. Con esta información la UCE regula la presión mediante la activación de la electrobomba, las electroválvulas reguladoras de presión, etc.

Los sensores de presión más empleados en este tipo de cambios son los de tipo capacitivo. Estos sensores constan de dos placas eléctricas paralelas conductoras separadas entre sí por una pequeña distancia, formando así un condensador eléctrico. Las placas están colocadas sobre piezas cerámicas, una de las cuales está en contacto con el líquido a presión (figura 6.28). Cuando la presión aumenta, esta pieza cerámica se deforma, cambiando la distancia entre las placas conductoras y, por tanto, la capacidad del condensador. De este modo se genera una señal eléctrica fácilmente cuantificable.



6.27. Funcionamiento de un sensor de presión y señal eléctrica que suministra.

Interruptor de cierre de puerta del conductor

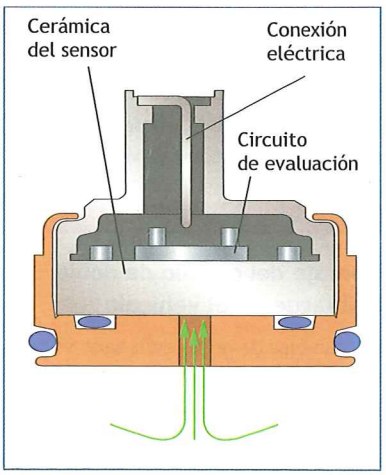
Este interruptor mecánico indica a la UCE cuándo se abre la puerta del conductor, información con la cual esta puede poner en funcionamiento la electrobomba, si la presión del circuito es inferior a un valor determinado, y realizar así el engranaje de marchas con mayor rapidez.

En otras cajas automatizadas esta información provoca que la UCE coloque el cambio en la posición de punto muerto, «N», para poder realizar la puesta en marcha del motor.

Interruptor de accionamiento del freno

Este interruptor indica a la UCE cuándo está pisado el pedal de freno. Cuando esto ocurre, la UCE selecciona un determinado mapa característico de cambios de reducción de marchas.

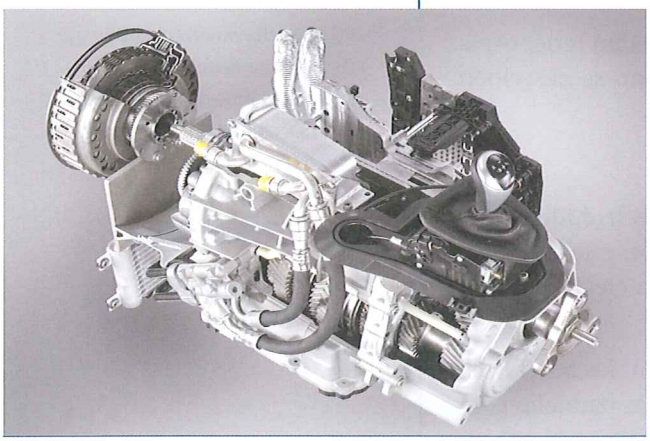
Los modelos que necesitan tener pisado el pedal de freno para proceder al encendido del vehículo también utilizan la información que suministra este sensor.



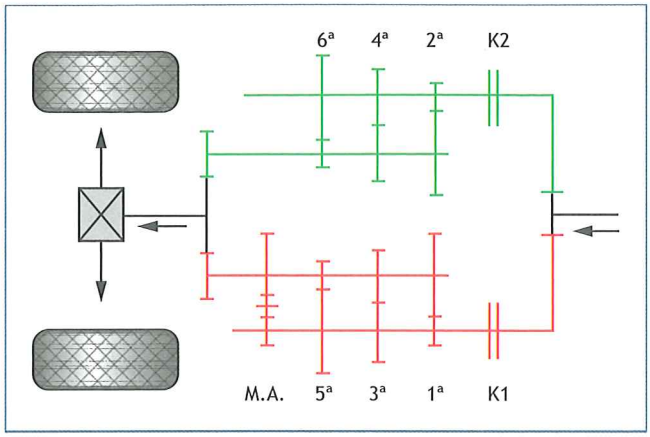
6.28. Componentes de un sensor de presión.

6 >> Cajas de cambios automatizadas de doble embrague

Los cambios automatizados de doble embrague están compuestos por dos transmisiones parciales conectadas en paralelo. Cada una de ellas está conectada a un embrague y ambas transmiten el movimiento al mismo elemento de salida.



6.29. Cambio automatizado de doble embrague.



6.30. Esquema del cambio automatizado de doble embrague.

Los nombres de los cambios de doble embrague

Casi todos los fabricantes de vehículos disponen ya de un cambio de doble embrague y cada uno lo denomina de una manera.

El más conocido es el llamado DSG del grupo Volkswagen, pero también existen el cambio TCT de Fiat, el Powershift de Ford, el EDC de Renault, el PDK de Porsche, etc.

Realmente estos cambios de doble embrague son construidos por unos pocos fabricantes de cambios y después se adaptan a cada constructor de vehículos.

Montaje del cambio de doble embrague en el vehículo

Los cambios de doble embrague se pueden utilizar en vehículos con tracción delantera, tracción trasera y tracción total, variando en cada uno de ellos su montaje y los grupos de reenvío necesarios para transmitir el movimiento a los distintos conjuntos de ruedas.

En una de las transmisiones parciales van colocados los engranajes de las marchas pares y en la otra los engranajes de las marchas impares. Cada transmisión dispone de un embrague de unión al volante de inercia del motor, que puede ser de discos múltiples bañados en aceite o monodisco en seco. Por lo tanto, también existe un embrague para las marchas pares, llamado K2, y otro para las impares, llamado K1.

La característica más importante de este tipo de cambios es la transmisión continua del movimiento del motor a las ruedas, incluso cuando se realiza el cambio de marchas. Esto se consigue gracias a su tipo de construcción, que permite transmitir el movimiento del motor a la pareja de engranajes de la transmisión parcial que tiene el embrague cerrado mientras que el otro embrague está abierto dejando libre la pareja de engranajes seleccionados de la otra transmisión parcial.

Cuando se cambia de marcha, se abre un embrague al mismo tiempo que se cierra el otro, generándose un cambio de marchas sin apenas desconexión de la transmisión de par motor.

En la transmisión que se queda sin movimiento se va seleccionando la siguiente velocidad que se vaya a engranar, que será superior o inferior a la ya engranada dependiendo de las condiciones de marcha del vehículo y de la posición de la palanca de cambios.

El accionamiento de los elementos actuadores presentes en las cajas automatizadas de doble embrague puede ser electrohidráulico o electromecánico, siendo más común el primero.

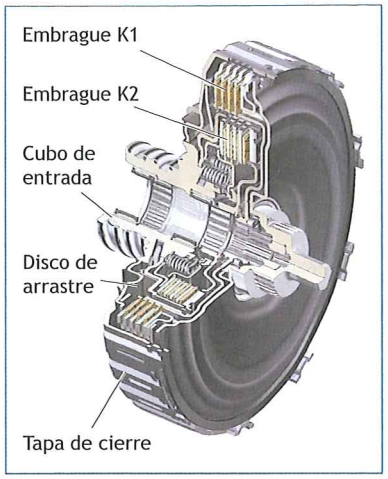
Buena parte de los elementos que componen estas cajas de cambios son similares a los del resto de cajas de cambios automatizadas.

6.1 > Componentes mecánicos de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague

Los componentes mecánicos de esta caja de cambios que difieren de los de otros cambios automatizados son dos embragues, dos ejes primarios o ejes de entrada y, dependiendo del constructor del cambio, uno o dos ejes secundarios. Además, algunos disponen de una rueda de parking, como los cambios automáticos.

El embrague doble (figura 6.31) recibe el par motor desde el volante de inercia sobre su cubo de entrada. Este cubo está soldado al disco de arrastre que es solidario al portadiscos exterior. Además el portadiscos exterior y el portadiscos interior van soldados al cubo principal, así que los dos embragues siempre reciben el par motor al mismo tiempo.

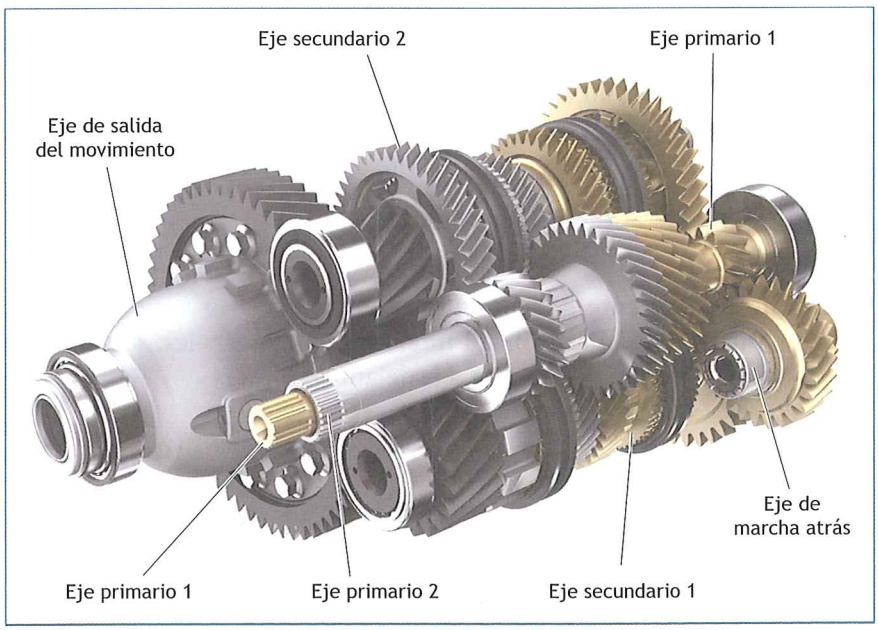
Los embragues que transmiten el movimiento a los dos ejes primarios pueden ser de discos múltiples bañados en aceite o de un disco en seco para cada uno de los ejes.



6.31. Doble embrague de discos múltiples bañados en aceite de un cambio automatizado de doble embrague.

Cajas de cambios automatizadas de doble embrague con dos ejes secundarios

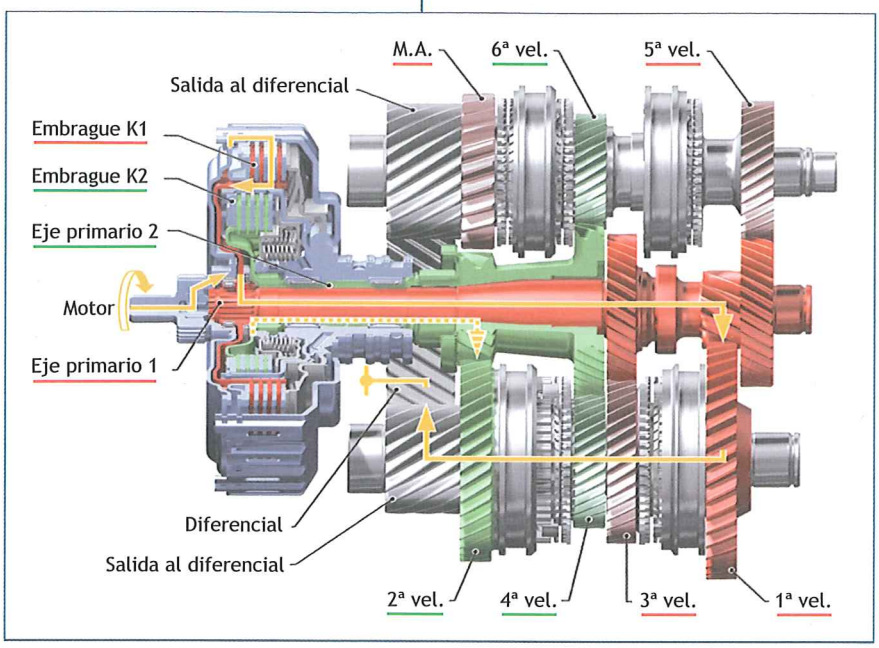
Además de dos ejes secundarios, estas cajas poseen dos ejes primarios (ejes de entrada) coaxiales con unos rodamientos que les permiten girar. Uno de estos ejes primarios tiene los piñones de las velocidades 1ª-M.A., 3ª y 5ª (impares) y el otro los piñones de las velocidades 4ª, 6ª y 2ª (pares).



6.32. Conjunto de ejes de un cambio automatizado de doble embrague con dos ejes secundarios.

De los dos ejes secundarios, uno de ellos monta los piñones locos de las velocidades 5ª, 6ª y M.A., y el otro los de las velocidades 1ª, 2ª, 3ª y 4ª. Cada uno de estos ejes termina en un piñón que engrana con la corona del diferencial.

Además existe otro eje encargado de invertir el giro del árbol secundario que soporta el piñón de marcha atrás.



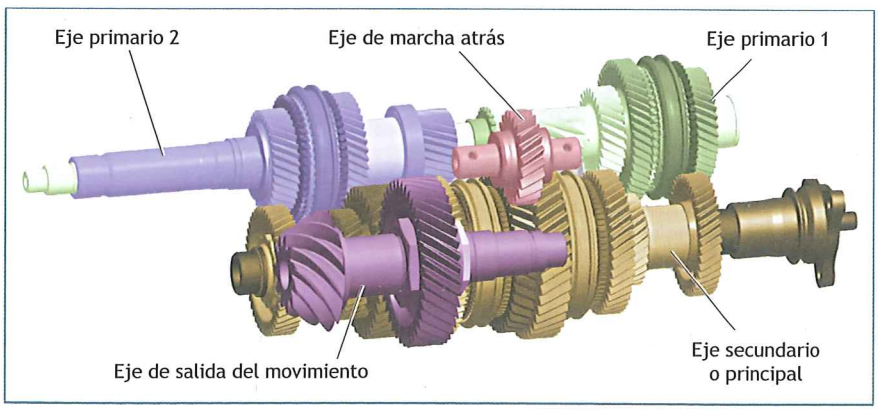
6.33. Esquema de una caja de cambios automatizada de doble embrague con dos ejes secundarios, con la 1ª velocidad seleccionada y la 2ª preseleccionada. Fuente: Audi.

El procedimiento del cambio de velocidades es el siguiente:

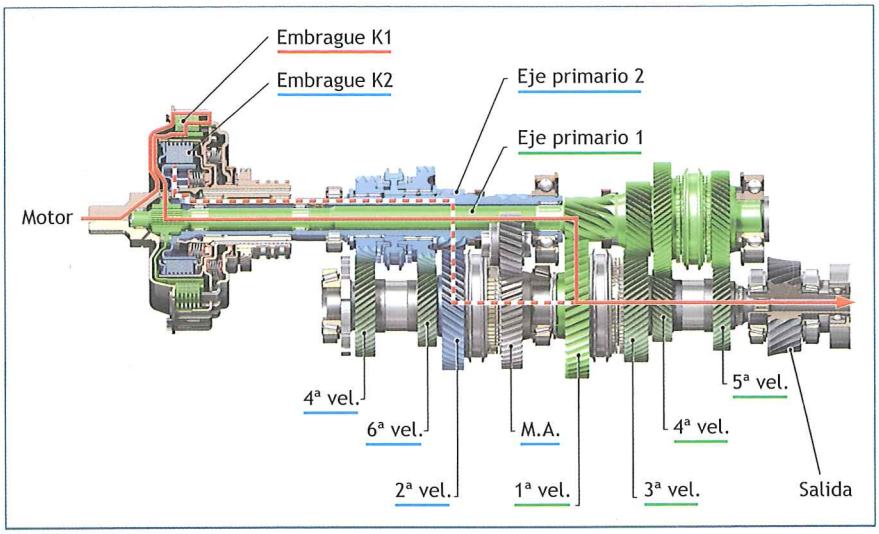
1. Al arrancar el motor, la gestión electrónica de la caja de cambios engrana la 1ª velocidad. Cuando se pisa el pedal del acelerador, se cierra el embrague de las marchas impares para que el movimiento pase al eje primario correspondiente.
2. Cuando el vehículo se desplaza con la 1ª velocidad, la gestión del cambio, en función de los parámetros de la marcha, puede ordenar que se engrane la 2ª velocidad en el eje de velocidades pares con su embrague abierto.
3. Cuando la UCE lo determina, el embrague de las velocidades impares se abre y el de las pares se cierra, y así la caja de cambios selecciona la 2ª velocidad.
4. A partir de la 2ª velocidad y en función de las condiciones de marcha la UCE ordenará cuando sea necesario que se engrane la 1ª o la 3ª velocidad en el eje de velocidades impares con su embrague abierto.
5. Cuando sea necesario seleccionar la velocidad engranada en el eje de velocidades impares, su embrague se cerrará a la vez que se abre el de las velocidades pares; el sistema procederá entonces a engranar la velocidad par apropiada, y así sucesivamente.

Cajas de cambios automatizadas de doble embrague con un eje secundario

Este cambio solamente dispone de un eje secundario o eje principal. Cuando este tipo de cajas utilizan montajes longitudinales, se les añade un eje que proporciona tracción al eje delantero.



6.34. Conjunto de ejes de una caja de cambios automatizada de doble embrague con un eje secundario.



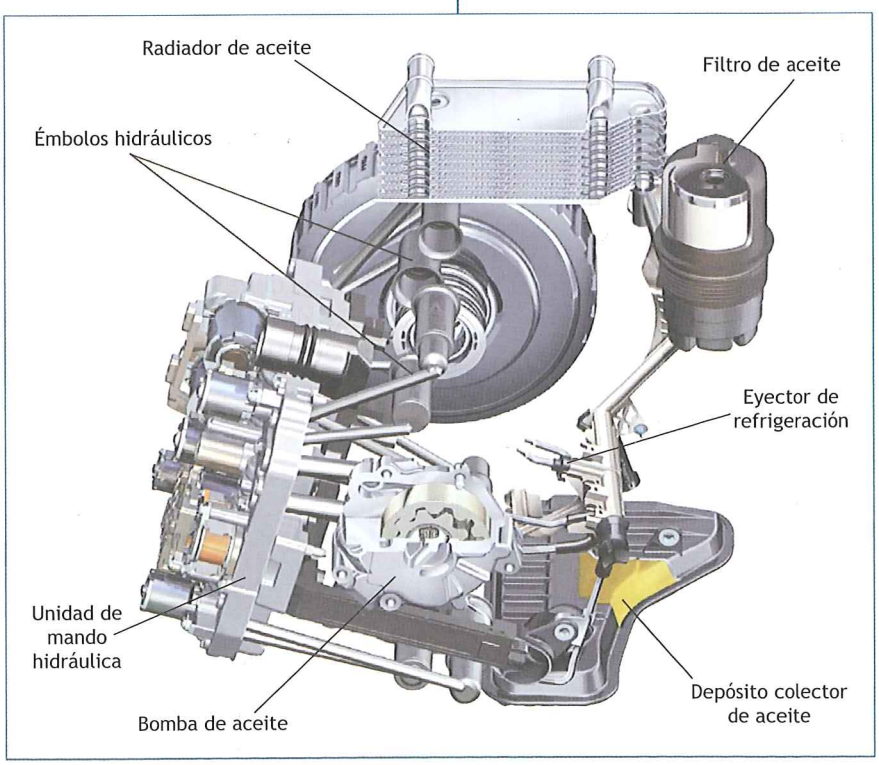
6.35. Esquema de una caja de cambios automatizada de doble embrague con un eje secundario, con la 1ª velocidad seleccionada y la 2ª preseleccionada. Fuente: Audi.

El embrague K1 va engranado con el eje primario 1 (velocidades impares), mientras que el embrague K2 va engranado con el eje primario 2 (velocidades pares). El eje principal dispone de ocho piñones para conseguir las seis marchas hacia delante y la marcha atrás. El proceso del cambio de marchas es similar al estudiado para el cambio de doble embrague con dos secundarios.

6.2 > Circuito hidráulico de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague

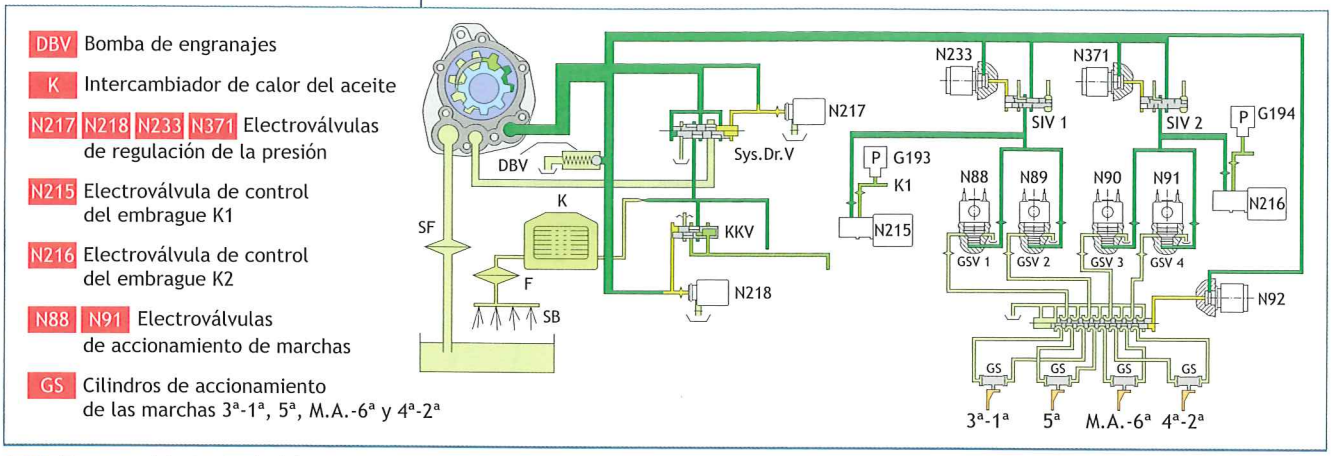
El accionamiento de los actuadores en los cambios de doble embrague es hidráulico y su funcionamiento es similar al de las cajas automatizadas electrohidráulicas. Además el aceite a presión de este circuito hidráulico también se emplea para realizar la refrigeración de los piñones y de los discos de embrague cuando estos son multidisco bañados en aceite.

Los elementos que componen el circuito hidráulico son similares a los que aparecen en los cambios automatizados electrohidráulicos. Los principales son: la bomba, la unidad de mando hidráulica, el radiador del aceite del cambio y los cilindros actuadores del cambio. Dependiendo del fabricante del cambio, la bomba puede ser accionada por un eje solidario al disco de arrastre de los embragues o puede ser una electrobomba.



6.36. Circuito hidráulico de un cambio de doble embrague.

El diseño del circuito hidráulico depende de cada fabricante del cambio de doble embrague.



6.37. Esquema del circuito hidráulico de un cambio automatizado de doble embrague.

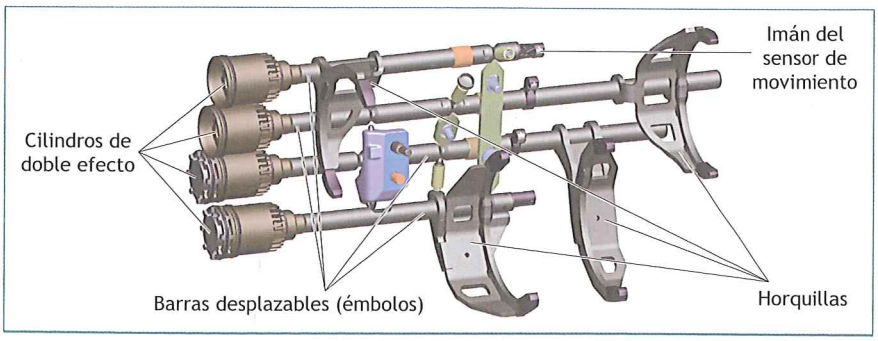
6.38. Actuador del cambio de una caja de cambios automatizada de doble embrague con dos ejes secundarios.

Los elementos del circuito hidráulico de estas cajas de cambios que más difieren de los del resto de cajas automatizadas electrohidráulicas son los actuadores del cambio.

En las **cajas con dos ejes secundarios** las barras desplazables de los sincronizadores hacen las veces de émbolos de accionamiento hidráulico que se desplazan en los cilindros construidos en la carcasa del cambio (figura 6.39).

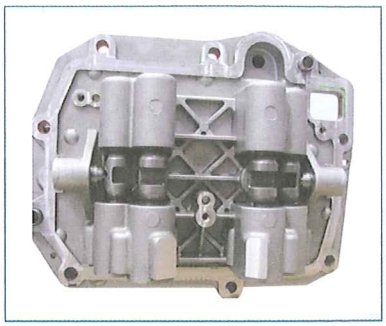
En este caso, las barras desplazables tienen tres posiciones definidas: la central, sin ninguna velocidad engranada, y las dos extremas, donde se engranan las velocidades. Estas posiciones se modifican alimentando con aceite a presión el cilindro de un extremo al mismo tiempo que el cilindro del otro extremo es puesto en comunicación con el retorno del circuito hidráulico. Una vez conseguida la posición final deseada, se dejan de alimentar los cilindros con aceite a presión y la barra se mantiene en dicha posición mediante fiadores de muelle.

El sistema de accionamiento de las **cajas con un eje secundario** es similar al de las de dos ejes secundarios, con barras desplazables que actúan como émbolos del sistema. La única diferencia es que disponen de un único cilindro de doble acción por barra desplazable (figura 6.39).



6.39. Actuadores del cambio de una caja de cambios automatizada de doble embrague con un eje secundario.

Existe otro tipo de actuador del cambio que aparece en los cambios automatizados de doble embrague donde los cilindros con los émbolos hidráulicos están colocados en una carcasa del cambio (figura 6.40). Estos émbolos desplazan un dedo o pestaña unido a la barra de mando de las horquillas de los sincronizadores.

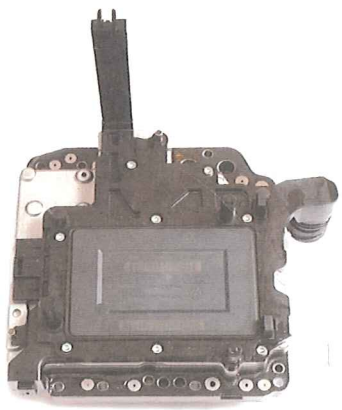


6.40. Actuador del cambio de una caja semiautomática de doble embrague con los cilindros en la carcasa.

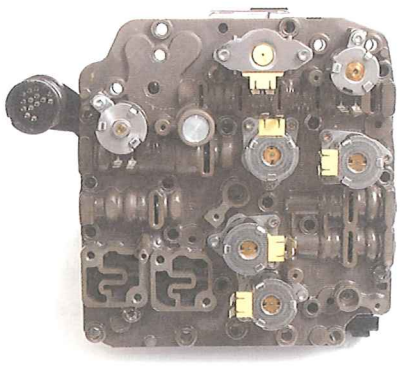
6.3 > Circuito eléctrico de mando de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague

Al igual que en los cambios electrohidráulicos, el circuito eléctrico de las cajas automatizadas de doble embrague está formado por los sensores, la unidad de control electrónico y los actuadores.

En estos cambios la unidad hidráulica con las electroválvulas y la unidad electrónica de control con los sensores interiores del cambio forman una unidad compacta denominada Mechatronic que va instalada en el interior del cambio. Con esta unidad se consigue una construcción más compacta, aunque la UCE esté sometida a mayores solicitaciones térmicas (altas temperaturas en el interior del cambio) y mecánicas (vibraciones al desplazarse el vehículo).



Unidad de control



Unidad de mando hidráulico

6.41. Unidad Mechatronic.

Esta unidad Mechatronic se encarga de gestionar todas las funciones de mando del cambio: nivel de presión hidráulica, regulación de los embragues, selección de los momentos de cambio de marchas, modos de funcionamiento, comunicación vía CAN bus con otras unidades de control del vehículo, etc.

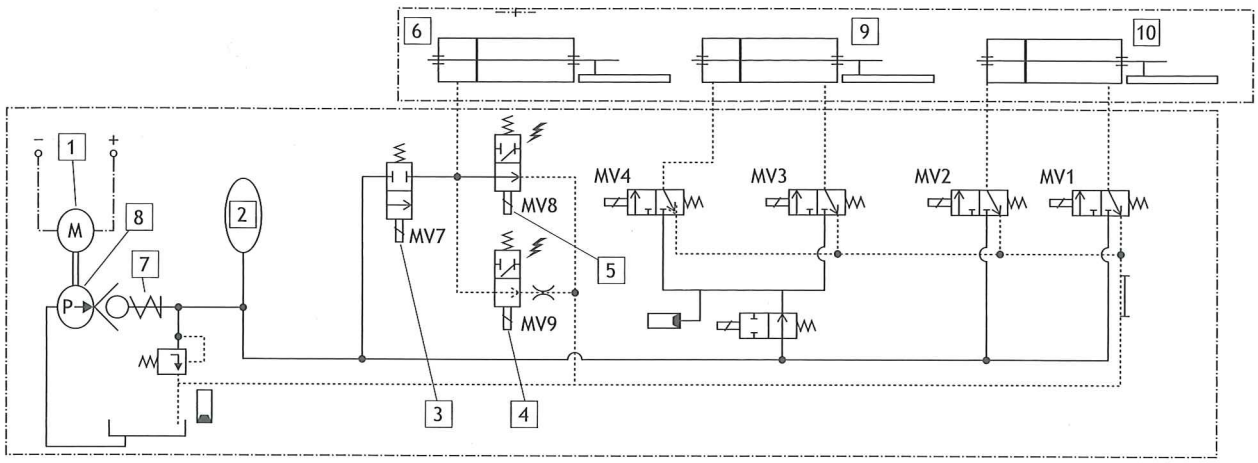
Estos cambios poseen sensores de régimen de los ejes primarios y secundarios que están situados en la carcasa exterior de los embragues o en el volante motor. Con las señales de régimen de entrada al cambio y las de régimen de cada uno de los ejes primarios que envían estos sensores, la UCE detecta si existe resbalamiento en el embrague correspondiente; si se detecta resbalamiento en una transmisión parcial, esta se desactiva.

Mediante los sensores de giro colocados en los ejes secundarios se mide la velocidad y el sentido de marcha del vehículo.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

1·· Dado el siguiente circuito hidráulico de una caja de cambios automatizada hidráulica, contesta a las siguientes cuestiones:



a) ¿Qué función realiza el elemento de la figura marcado con el número 8? ¿Cómo es accionado dicho elemento? ¿Está funcionando todo el tiempo mientras el vehículo circula? Razona todas tus respuestas.
b) ¿Qué función realiza el elemento número 2 de la figura? ¿Qué hay en su interior? Razona tus respuestas.
c) El cilindro marcado con el número 9 es el encargado de seleccionar la pista. ¿De qué tipo es? ¿Qué válvula comanda la salida de su émbolo? ¿Cuál es su entrada?
d) El cilindro número 6 de la figura es el del embrague. ¿De qué tipo es? ¿Qué válvula gobierna la entrada de aceite a su cámara de trabajo? Cuando sale el émbolo del embrague, ¿en qué posición se encuentran las electroválvulas MV8 y MV9? ¿Por qué crees que existen válvulas que pueden vaciar el aceite de dicha cámara? Razona todas tus respuestas.

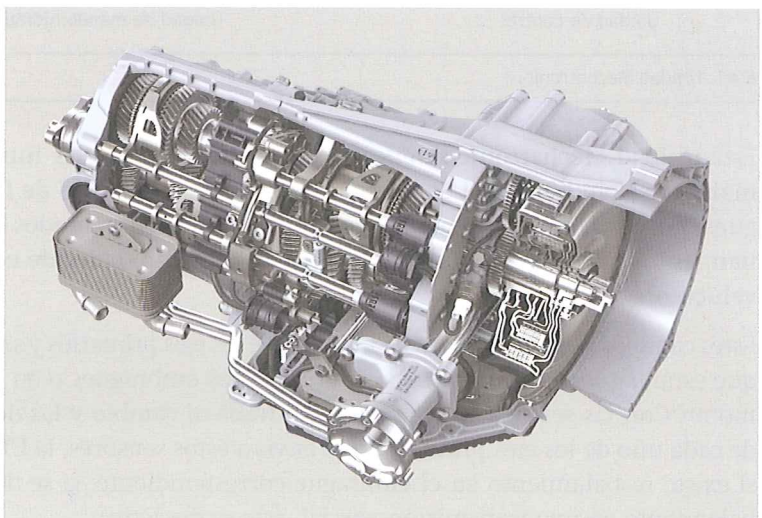
2·· Indica los elementos que componen una caja de cambios automatizada electromecánica.

3·· Explica el funcionamiento de una caja de cambios de doble embrague.

.: APLICACIÓN :.

1·· Averigua qué vehículos presentes en el mercado disponen de caja de cambios manual automatizada e identifica de qué tipo es dicha caja.

2·· Con un manual de taller de una caja de cambios automatizada, identifica qué tipo de sensores posee y cómo y con qué elementos se comprueba su correcto funcionamiento.



6.42. Caja de cambios automatizada de doble embrague con un eje secundario.

Caso final

Desmontaje del doble embrague del cambio automatizado DSG

•• Los embragues de una caja de cambios DSG de un vehículo que ha llegado al taller se han desgastado debido a un problema con el aceite del cambio, por lo que es necesario proceder a su sustitución. ¿Cómo se realiza este proceso?

Solución ••

Para proceder a la sustitución del doble embrague debemos seguir los pasos que se describen a continuación:

1. Empezamos colocando la caja de cambios en posición vertical sólidamente fijada en un caballete (figura 6.43).

2. Desmontamos la tapa de cierre del embrague doble. Para ello, primero tenemos que quitar el anillo de seguridad que la mantiene en su asiento y después, apalancando suavemente, la sacamos de su posición (figura 6.44).

3. Retiramos el anillo de seguridad que fija el disco de arrastre a la campana del portadiscos exterior del embrague de las marchas impares (figura 6.45).

6.43. Colocación del cambio en posición vertical.

6.44. Desmontaje de la tapa de cierre del embrague.

6.45. Retirada del anillo de seguridad del disco de arrastre.

4. Quitamos el disco de arrastre de su posición en la campana (figura 6.46).

5. Retiramos el anillo de seguridad (figura 6.47) y extraemos el embrague levantándolo cuidadosamente sin girarlo para que ningún elemento interior se desplace de su posición (figura 6.48).

6.46. Extracción del disco de arrastre.

6.47. Retirada del anillo de seguridad.

6.48. Extracción del embrague.

Ideas clave

CAJAS DE CAMBIOS MANUALES AUTOMATIZADAS
Cajas de cambios automatizadas electromecánicas
Actuadores
Motores eléctricos
Circuito eléctrico de mando
Cajas de cambios automatizadas electrohidráulicas
Actuadores
Cilindros hidráulicos
Circuito hidráulico
Circuito eléctrico de mando
Cajas de cambios automatizadas electroneumáticas
Actuadores
Cilindros neumáticos
Circuito neumático
Circuito eléctrico de mando
Cajas de cambios automatizadas de doble embrague
Tipos
De dos ejes secundarios
De un eje secundario
Actuadores
Cilindros hidráulicos
Circuito hidráulico
Circuito eléctrico de mando
Unidad Mechatronic
Sensores
Posición y recorrido
Potenciómetro
Sensor de efecto Hall
Sensor inductivo
Sensor PLCD
Régimen de giro
Palanca de cambios
Presión hidráulica
Interruptores de posición

Doble embrague en seco o en húmedo

Los fabricantes de transmisiones de vehículos se están centrando en el desarrollo e investigación de las cajas de cambios automatizadas de doble embrague debido a las ventajas que estas presentan respecto al consumo de combustible, similar al de las cajas de cambios manuales, y al aumento del confort de conducción, ventaja que presentan los cambios automáticos.

Dado que lo que diferencia este tipo de transmisiones es la presencia del doble embrague, los fabricantes se centran en elegir y desarrollar la opción más favorable para su caja de cambios: el embrague doble de discos bañados en aceite o el embrague de doble disco en seco, pues cada uno de ellos posee sus ventajas e inconvenientes.

Nosotros, en esta revista electromecánica, vamos a intentar esbozar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los dos sistemas.

Embrague de discos múltiples bañados en aceite

Los embragues multidisco bañados en aceite son accionados por un émbolo mediante presión hidráulica; como las cámaras de accionamiento de los embragues se mueven a las mismas revoluciones que el motor de combustión, el émbolo actuador también se mueve. Para alimentar las cámaras de trabajo del émbolo se necesitan distribuidores giratorios.

Este tipo de embrague presenta como grandes ventajas su menor masa y, por tanto, su menor momento de inercia, y su mejor refrigeración debido al empleo del aceite para refrigerar los discos de fricción. Además, no se necesita ningún dispositivo de ajuste automático del desgaste de los forros de fricción de los discos.

Embrague de doble disco en seco

Este tipo de embrague presenta una diferencia con respecto al utilizado en las cajas de cambios manuales, donde, cuando no está accionado el diafragma, el plato de presión aprieta el disco de embrague contra el volante de inercia, es decir, el mecanismo transmite par cuando no está accionado el embrague.

Sin embargo, en los embragues de disco doble en seco, la transmisión de par se realiza activamente: el actuador del embrague desplaza el diafragma provocando que el plato de presión apriete el disco de embrague correspondiente contra el volante de inercia, transmitiéndose así el par de giro proporcionado por el motor. En estos casos, por tanto, tenemos arrastre de fuerza por parte del embrague cuando este está accionado.

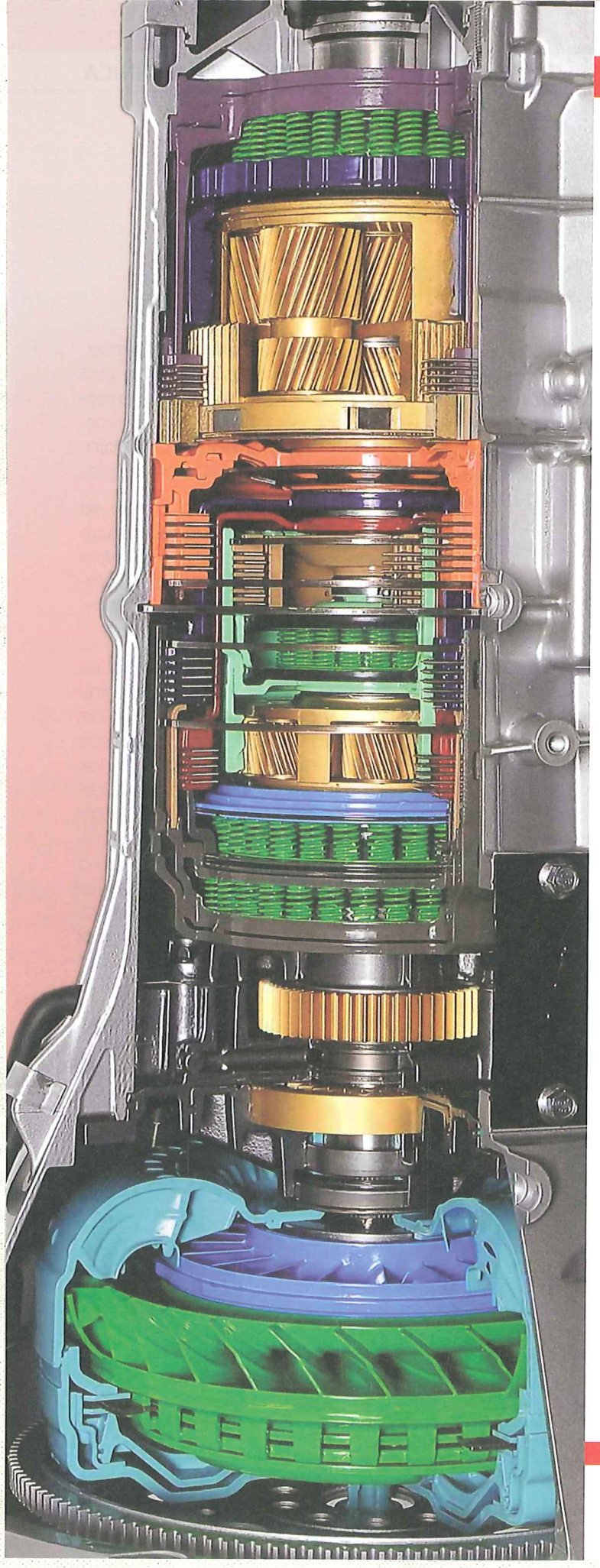
Este tipo de construcción se emplea por motivos de seguridad; cuando algo falla en el cambio se produce la apertura de los embragues, cortándose así la transmisión de movimiento.

Por otro lado, estos embragues poseen una duración determinada, ya que sus condiciones de funcionamiento son más severas que las de los empleados en las cajas manuales debido a que están sometidos a una utilización mayor, por el aumento del número de cambios de marcha, y a un mayor tiempo de funcionamiento con deslizamiento controlado, que sirve para aumentar el confort proporcionado por estos cambios automatizados.

Fuente: www.luck.com

Embrague doble multidisco bañado en aceite — Embrague doble en seco

6.49. Los dos tipos principales de embragues dobles.



unidad 7

Cajas de cambios automáticas

SUMARIO

- Cajas de cambios automáticas de trenes epicicloidales
- Cajas de cambios automáticas de variación continua (CVT)
- Diagnosis, verificación y reparación de las cajas de cambios automáticas.

OBJETIVOS

- Conocer los distintos elementos que componen los cambios automáticos epicicloidales.
- Comprender el funcionamiento de los engranajes epicicloidales.
- Conocer las partes fundamentales y el funcionamiento de los CVT.
- Ser capaz de realizar el mantenimiento básico de las cajas de cambios automáticas.

1 >> Introducción a los cambios automáticos

Las principales características de los cambios automáticos son las siguientes:

- Las distintas relaciones de transmisión son seleccionadas automáticamente sin que el conductor tenga que realizar ninguna acción.
- Dichos cambios de relación se realizan bajo carga, es decir, no se desconecta el movimiento del motor al eje de entrada de la transmisión automática.

La finalidad de las transmisiones automáticas es conseguir que las distintas relaciones disponibles en el cambio se seleccionen de la mejor manera posible en función de las condiciones de marcha.

Los principales cambios automáticos son los siguientes:

- **Los cambios automáticos epicicloidales:** están formados por engranajes planetarios donde las distintas relaciones de transmisión se realizan liberando o bloqueando el giro de alguno de los tres elementos que componen el tren (planetario, satélites y corona).
- **Los cambios de variación continua** o **CVT** *(continuosly variable transmision):* su principal característica es que la transmisión de movimiento se realiza por medio de una cadena metálica que une dos poleas de diámetro variable, una conductora y otra conducida. Variando estos diámetros se consiguen las distintas relaciones de transmisión y que el cambio de relación sea continuo y sin saltos.

Estas son las principales ventajas de las cajas de cambios automáticas:

- Fácil manejo del automóvil.
- Mayor confort de conducción.
- Flujo de fuerza del motor a las ruedas prácticamente ininterrumpido.

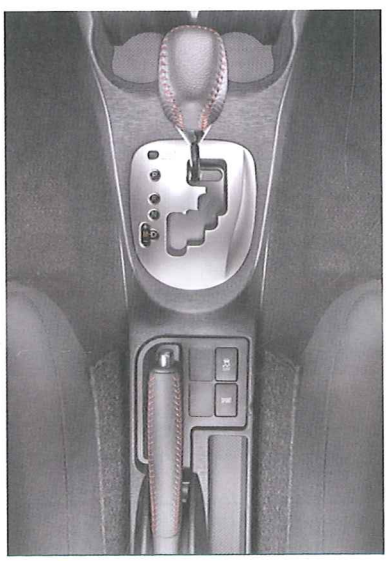
Los cambios automáticos son gobernados por una palanca selectora que tiene varias posiciones (figura 7.1):

- «P» (parking): es la posición que se utiliza cuando se deja estacionado el vehículo.
- «N» (neutro): es la posición de punto muerto.
- «R» *(reverse):* es la posición de la marcha atrás.
- «D» *(drive):* en esta posición las marchas se van insertando de manera automática.
- «M» (manual): en esta posición se inserta la marcha indicada por el conductor mediante otras dos posiciones:
  - «+»: aumentar marcha.
  - «–»: disminuir marcha.

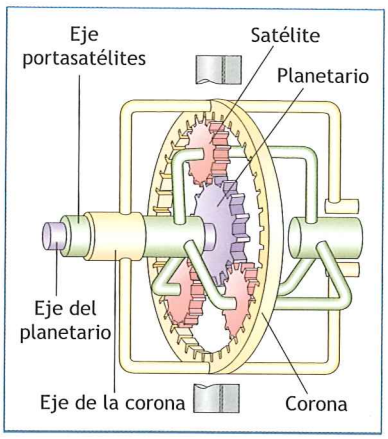
En los cambios automáticos se utiliza, como medida de seguridad cuando se producen fallos de funcionamiento del cambio, corte de la corriente eléctrica o fallo de la batería, el bloqueo de la palanca selectora en la posición «parking» para inmovilizar el vehículo y evitar así posibles deterioros en la transmisión automática. En caso de producirse el bloqueo de la palanca se dispone de un mecanismo de desbloqueo de emergencia para que el vehículo pueda ser remolcado.

Programas de marchas

En los vehículos con cambios automáticos epicicloidales, además de las posiciones de la palanca selectora, suelen existir botones que modifican el programa de marchas del cambio automático (nieve, sport, etc.).



7.1. Posiciones de la palanca selectora de un cambio automático epicicloidal.



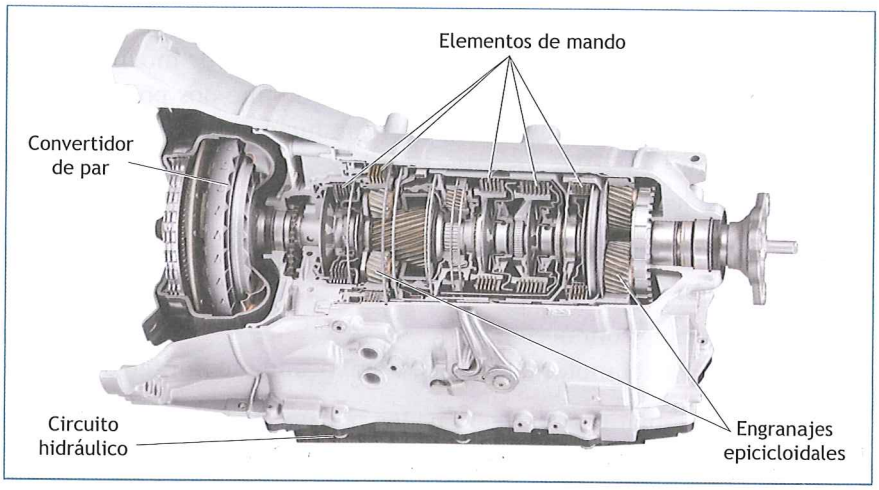
7.2. Esquema de un engranaje epicicloidal.

2 >> Cambios automáticos epicicloidales

Los cambios automáticos de trenes epicicloidales están formados por tres partes básicas: los componentes mecánicos, el circuito hidráulico y el circuito eléctrico.

Los componentes mecánicos principales son los siguientes (figura 7.3):

- **Convertidor de par:** es el embrague que utilizan estos cambios. Se explica con detenimiento en la Unidad 3.
- **Engranajes epicicloidales** o **planetarios:** es el elemento fundamental del cambio automático, ya que con ellos se consiguen las distintas relaciones de transmisión.
- **Elementos de mando:** son los encargados de bloquear el giro libre de las ruedas dentadas que forman el engranaje epicicloidal para variar la relación de transmisión.
- **Freno de parking:** es el encargado de inmovilizar el vehículo cuando el motor se para.



7.3. Componentes de una caja de cambios automática epicicloidal.

2.1 > Engranajes epicicloidales o planetarios

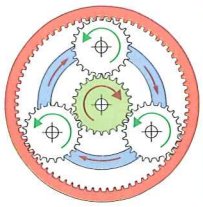
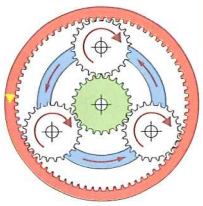
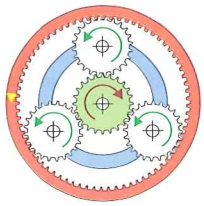
Los engranajes epicicloidales o planetarios son los encargados de generar las distintas relaciones de transmisión.

Están formados por tres elementos engranados en toma constante: el planetario o sol, los satélites y la corona (figura 7.2). El planetario está en el centro del tren, los satélites pueden girar a su alrededor y la corona gira alrededor de los satélites. Cada uno de los elementos va colocado en su propio eje de rotación y las distintas relaciones de transmisión se consiguen dando movimiento a un elemento del tren y bloqueando el giro de otro, lo que provoca el movimiento del elemento impulsado.

Para calcular las distintas relaciones de transmisión de un engranaje epicicloidal se utiliza la **fórmula de Willis:**

$$n_2 = \frac{Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1}{Z_3 + Z_1}$$

Variables de la fórmula de Willis		
Elemento	N.º vueltas	N.º dientes
Planetario	n_1	Z_1
Eje portasatélites	n_2	Z_2
Corona	n_3	Z_3

Elemento bloqueado	Elemento impulsor	Elemento impulsado	Relación de transmisión	Obtención de giro	Sentido del giro
Corona	Planetario	Eje portasatélites	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_3 + Z_1}{Z_1}$	Gran desmultiplicación (marcha muy lenta)	
	Eje portasatélites	Planetario	$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_3 + Z_1}$	Gran multiplicación (marcha muy rápida)	
Planetario	Corona	Eje portasatélites	$i = \frac{n_3}{n_2} = \frac{Z_3 + Z_1}{Z_3}$	Pequeña desmultiplicación (marcha lenta)	
	Eje portasatélites	Corona	$i = \frac{n_2}{n_3} = \frac{Z_3}{Z_3 + Z_1}$	Pequeña multiplicación (marcha rápida)	
Eje portasatélites	Corona	Planetario	$i = \frac{n_3}{n_1} = -\frac{Z_1}{Z_3}$	Media multiplicación (hacia marcha rápida)	
	Planetario	Corona	$i = \frac{n_1}{n_3} = -\frac{Z_3}{Z_1}$	Media desmultiplicación (hacia marcha lenta)	

Casos prácticos

Cálculo de la relación de transmisión en un engranaje epicicloidal

•• Un tren de engranajes epicicloidales está compuesto por una corona de 80 dientes y un planetario de 40 dientes. Calcula la relación de transmisión y el número de revoluciones obtenidas en el elemento impulsado cuando el elemento impulsor gira a 2 000 rpm y el elemento bloqueado es el piñón planetario, en los casos:

a) El impulsor es la corona.

b) El impulsor es el eje portasatélites.

Solución •• Para resolverlo utilizamos la fórmula de Willis con $Z_3 = 80$ dientes y $Z_1 = 40$ dientes.

a) El planetario se bloquea ($n_1 = 0$ rpm); la corona es la conductora y gira a 2 000 rpm:

$$n_2 = \frac{Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1}{Z_3 + Z_1} = \frac{80 \cdot 2\,000 + 0}{40} = 4\,000 \text{ rpm gira el eje portasatélites}$$

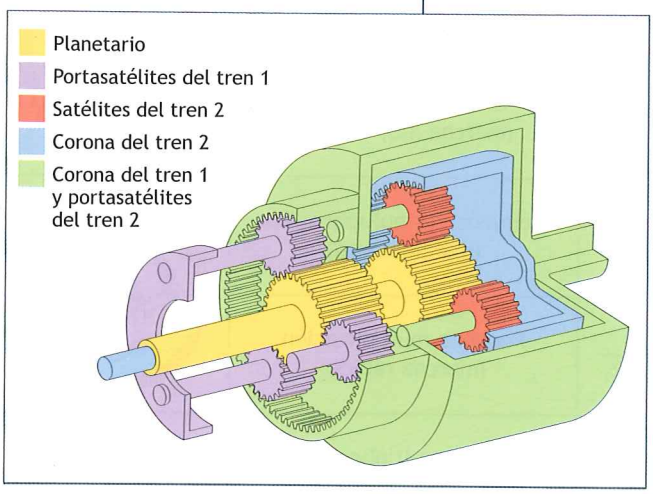
Por otro lado, la relación de transmisión es: $i = \frac{n_3}{n_2} = \frac{2\,000}{4\,000} = 0{,}5$

b) El planetario se bloquea ($n_1 = 0$ rpm); el eje portasatélites es el elemento impulsor y gira a 2 000 rpm. Como el elemento impulsado es la corona debemos despejar n_3 en la fórmula de Willis:

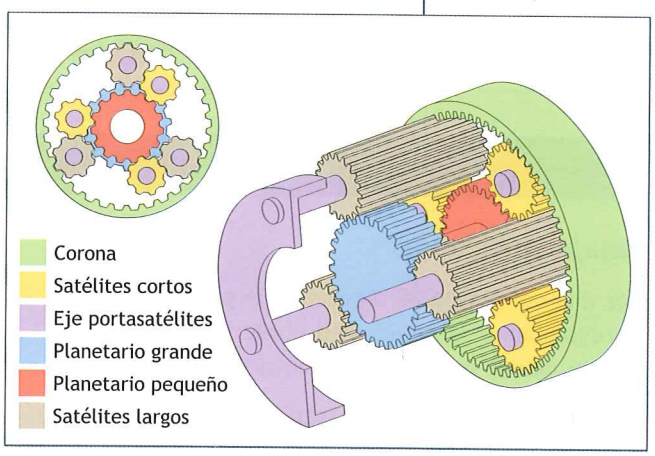
$$n_2 (Z_3 + Z_1) = Z_3 \cdot n_3 + Z_1 \cdot n_1 \Rightarrow n_3 = \frac{n_2 (Z_3 + Z_1) - Z_1 \cdot n_1}{Z_3} = \frac{2\,000\ (80 + 40) - 0}{80} = 3\,000 \text{ rpm gira la corona}$$

Por otro lado, la relación de transmisión es: $i = \frac{n_2}{n_3} = \frac{2\,000}{3\,000} = \frac{2}{3}$

Los distintos cambios automáticos están compuestos por varios trenes epicicloidales unidos entre sí en distintas disposiciones para conseguir las relaciones de transmisión deseadas. Las más utilizadas son las de tipo Simpson, Ravigneaux, Lepelletier y Wilson.



7.4. Conjunto epicicloidal tipo Simpson.



7.5. Conjunto epicicloidal tipo Ravigneaux.

Conjunto epicicloidal Simpson

Este conjunto está formado por dos trenes epicicloidales iguales que suelen unirse de dos formas diferentes:

- Unión tipo 1: los dos trenes tienen un planetario común y el eje portasatélites de un tren es solidario a la corona del otro. La salida del movimiento se realiza por la corona interior. Este tipo de unión se empleaba en los cambios automáticos de tres velocidades.
- Unión tipo 2: la corona de un tren se une con el eje portasatélites del otro y los planetarios se mantienen separados entre sí. Este tipo de unión da lugar a cambios automáticos de cuatro velocidades.

Conjunto epicicloidal Ravigneaux

Este conjunto está compuesto por dos trenes epicicloidales con un portasatélites y una corona común. Los dos planetarios son de diferente tamaño (figura 7.5).

El portasatélites lleva dos juegos de satélites:

- Unos satélites cortos de diámetro grande que engranan con el planetario pequeño y con los satélites largos.
- Unos satélites largos de menor diámetro que engranan con el planetario grande y con los satélites cortos y que transmiten el movimiento a la corona común.

La salida de movimiento se realiza por la corona del tren.

Con este tipo de unión se consiguen cambios de cuatro marchas. Se utiliza mucho en las cajas automáticas de los vehículos de tracción delantera.

Conjunto epicicloidal Lepelletier

Este conjunto está compuesto por una combinación de dos trenes epicicloidales independientes, uno simple y otro doble tipo Ravigneaux, con cinco elementos de mando: tres embragues y dos frenos.

Este tipo de unión presenta una construcción simple, compacta y ligera, al acortarse la longitud del conjunto, y posibilita hasta nueve marchas hacia delante y dos hacia atrás. Además genera un menor coste de fabricación.

Conjunto epicicloidal Wilson

Este cambio se compone de tres trenes epicicloidales sencillos. La corona del primer tren, el eje portasatélites del segundo y la corona del tercero están unidos entre sí. Los planetarios de los trenes segundo y tercero también están fijados entre sí y por ellos entra el movimiento.

2.2 > Elementos de mando del tren epicicloidal

En los trenes epicicloidales hay tres tipos de elementos que se utilizan para bloquear el giro libre de las ruedas dentadas que componen el tren epicicloidal:

- **Embragues multidisco:** unen en el giro dos elementos del tren epicicloidal.
- **Frenos:** bloquean el giro de un elemento del tren, uniendo dicho elemento con la carcasa del cambio.
- **Ruedas libres:** bloquean el giro de un elemento en un sentido, permitiendo que gire en sentido opuesto.

Embragues multidisco

Los embragues multidisco se encargan de unir dos elementos de los trenes epicicloidales.

Se componen de una carcasa o tambor con forma cilíndrica dotada de ranuras longitudinales interiores donde encajan unos discos de acero que hacen de discos de presión. Concéntricamente al tambor, gira un eje portadiscos interior, donde van colocados unos discos de fricción. Estos discos están situados de forma alterna respecto a los discos de presión y separados a una pequeña distancia.

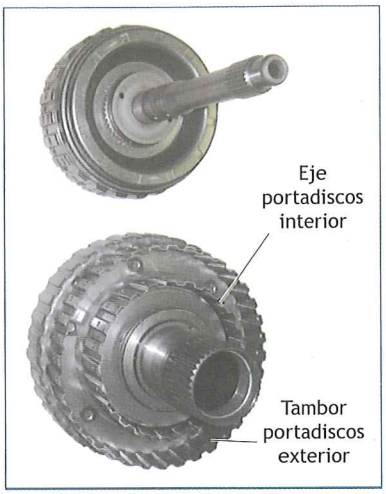
La carcasa exterior portadiscos forma un cilindro cerrado en un extremo por un émbolo desplazable. Cuando se aplica presión hidráulica, este émbolo se desplaza y comprime el paquete de discos, uniéndose así el giro de los dos ejes portadiscos.

Unos muelles o un muelle de diafragma provocan que el émbolo vuelva a su posición de reposo al dejar de recibir aceite a presión cuando se desconecta el embrague.

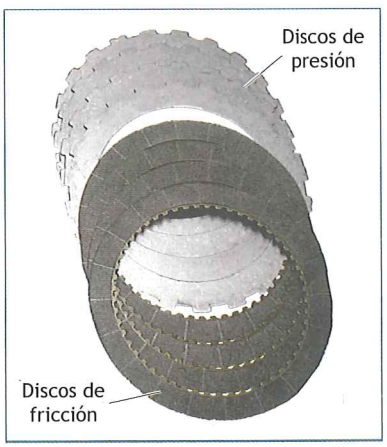
El número de discos de los embragues varía en función del par de giro que tengan que transmitir en la marcha en la que actúan.

El embrague de discos múltiples presenta un problema por estar sometido a giros a altas revoluciones: la llamada presurización dinámica. Ocurre cuando el aceite contenido en la cámara de trabajo del émbolo se presuriza debido a la fuerza centrífuga a la que está sometido y no permite que el embrague se abra correctamente. Este hecho provoca que los discos de fricción rocen entre sí, produciéndose un gran desgaste de los mismos y sacudidas durante los cambios de marchas.

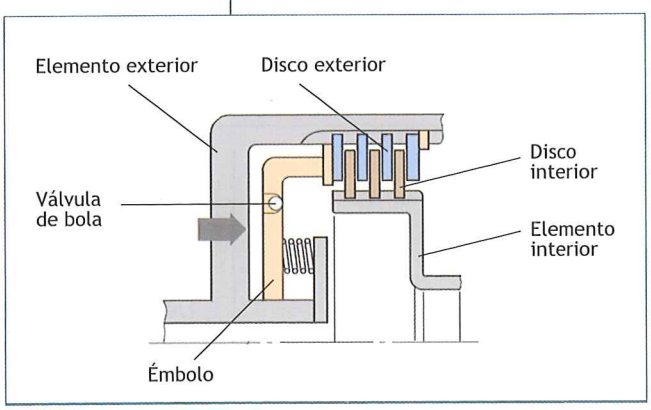
Esto sucede porque la fuerza centrífuga, cuando se abre el embrague, provoca que una pequeña cantidad de aceite permanezca en el émbolo. Para solucionar este problema existen varios métodos, pero el más utilizado es una válvula de bola colocada en el exterior del cilindro (figura 7.8), por detrás del émbolo desplazable, que permanece cerrada al desplazarse el émbolo por el cilindro y que se abre cuando se le deja de alimentar con aceite a presión, permitiendo de este modo la evacuación de todo el aceite contenido detrás del émbolo de trabajo.



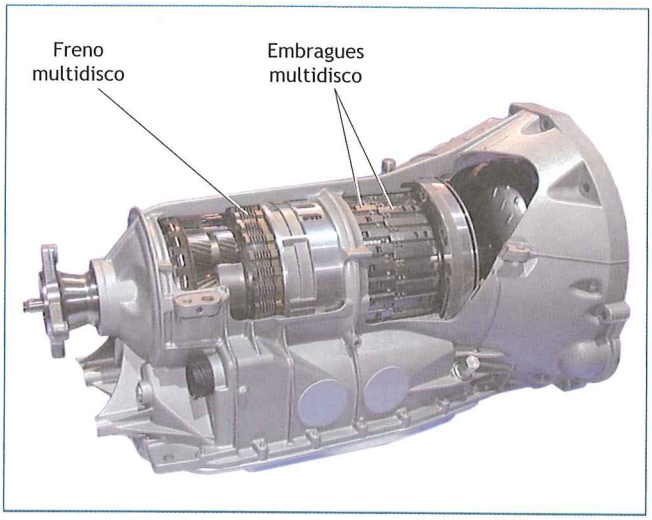
7.6. Embrague multidisco de un cambio epicicloidal.



7.7. Discos de un embrague multidisco.



7.8. Válvula de bola que compensa la centrifugación del aceite.



7.9. Frenos y embragues multidisco en un cambio automático epicicloidal.

Frenos

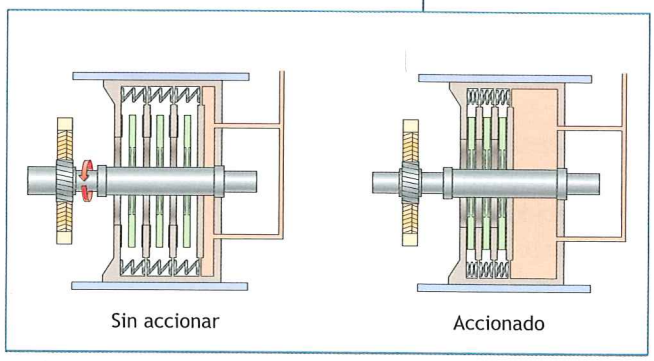
Los frenos presentes en los cambios automáticos pueden ser de dos tipos: multidisco y de cinta.

Los **frenos multidisco** poseen una construcción similar a los embragues, con la diferencia de que el cilindro externo está unido a la carcasa del cambio, evitando su giro.

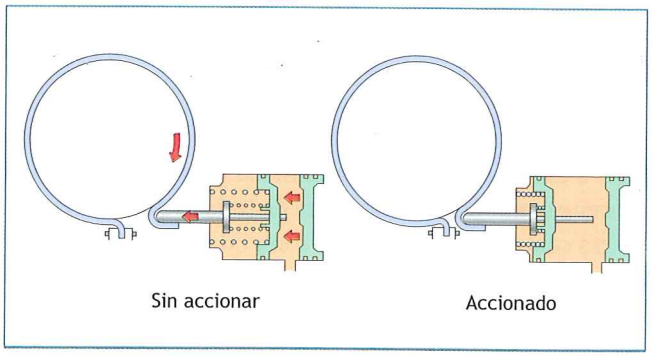
Un paquete de discos está unido a la carcasa del cambio automático y el otro paquete a un eje interior solidario al elemento del tren epicicloidal que se ha de bloquear. Al aplicar presión, el émbolo de accionamiento comprime los dos paquetes de discos, produciéndose la unión del eje portadiscos interior con la carcasa del cambio, es decir, frenando el elemento del tren epicicloidal (figura 4.10).

Los **frenos de cinta** se componen de una banda o cinta de freno colocada alrededor de un cilindro o tambor unido a un elemento del tren epicicloidal. Uno de los extremos de esta banda está unido a la carcasa y el otro al émbolo de accionamiento del freno.

Al alimentar con aceite a presión el cilindro de accionamiento del freno, se produce la salida del émbolo, que cierra las puntas del freno de cinta. Se origina así una fuerza de fricción entre la banda y el tambor sobre el que va colocada. Al dejar de alimentar con aceite a presión el cilindro de accionamiento, un muelle interior desplaza el émbolo, lo que posibilita la apertura de las puntas del freno y la liberación del elemento (figura 7.11).



7.10. Funcionamiento de los frenos multidisco.



7.11. Funcionamiento de los frenos de cinta.

Ruedas libres

Permiten el giro en un sentido, pero lo bloquean en el contrario. Su accionamiento no necesita de aceite a presión.

Debido a que el bloqueo se produce en un único sentido de giro, cuando el movimiento pasa de las ruedas al cambio (en el descenso de pendientes, por ejemplo) este bloqueo no se produce, imposibilitando el uso del efecto de frenado que produce el motor. Para paliar este inconveniente, en el tren epicicloidal junto a las ruedas libres suelen montarse frenos.

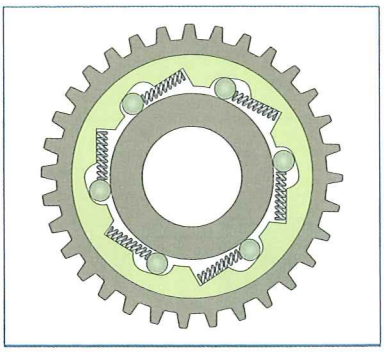
Las ruedas libres pueden ser de dos tipos: de rodillos o de cuerpos de apriete.

Las **ruedas libres de rodillos** (figura 7.12) constan de dos pistas sobre las que se desplazan unos rodillos empujados por unos muelles. La pista interior es circular y lisa y la exterior tiene rebajes con forma de cuña.

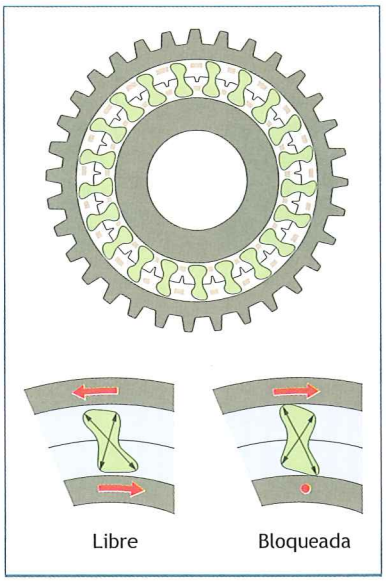
Cuando la pista interior de la rueda gira en el sentido de las agujas del reloj, los rodillos comprimen los muelles y el giro es permitido. Al cambiar el sentido de giro, los rodillos se ven forzados a entrar en los rebajes, provocando el bloqueo de la rueda libre.

Las **ruedas libres de cuerpos de apriete** (figura 7.13) son capaces de transmitir mayor par que las del piñón libre de rodillos, aunque su construcción es más compleja. En este caso, entre los anillos interior y exterior se encuentran unas piezas con forma de haltera llamadas cuerpos de apriete, que en un sentido de giro se aplastan, permitiendo el giro entre las dos pistas de la rueda libre, y en el otro sentido se levantan, impidiendo el giro de las dos pistas y bloqueando así el elemento.

Todos los cuerpos de apriete están unidos por un muelle que los mantiene en la posición de bloqueo para que el efecto de frenado se produzca con mayor rapidez.



7.12. Rueda libre de rodillos.

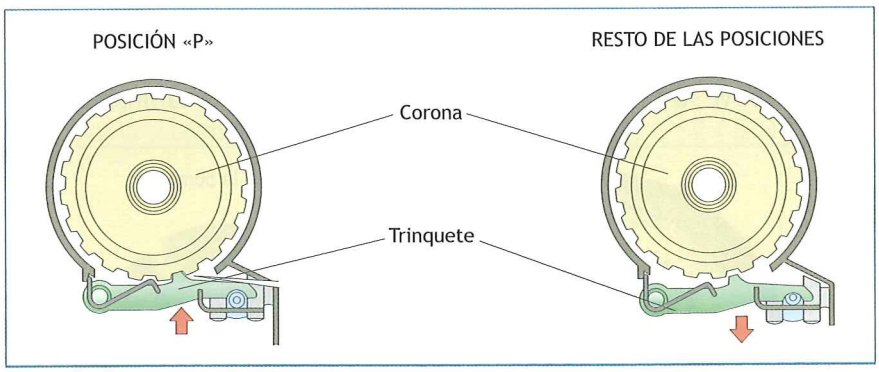


7.13. Rueda libre de cuerpos de apriete.

2.3 > Freno de parking

En los cambios automáticos no se puede tener insertada ninguna velocidad con el motor parado, ya que no hay presión de aceite. Por este motivo, para inmovilizar el vehículo cuando se para el motor se utiliza el freno de parking. Este freno se activa situando la palanca de accionamiento del cambio automático en la posición «P».

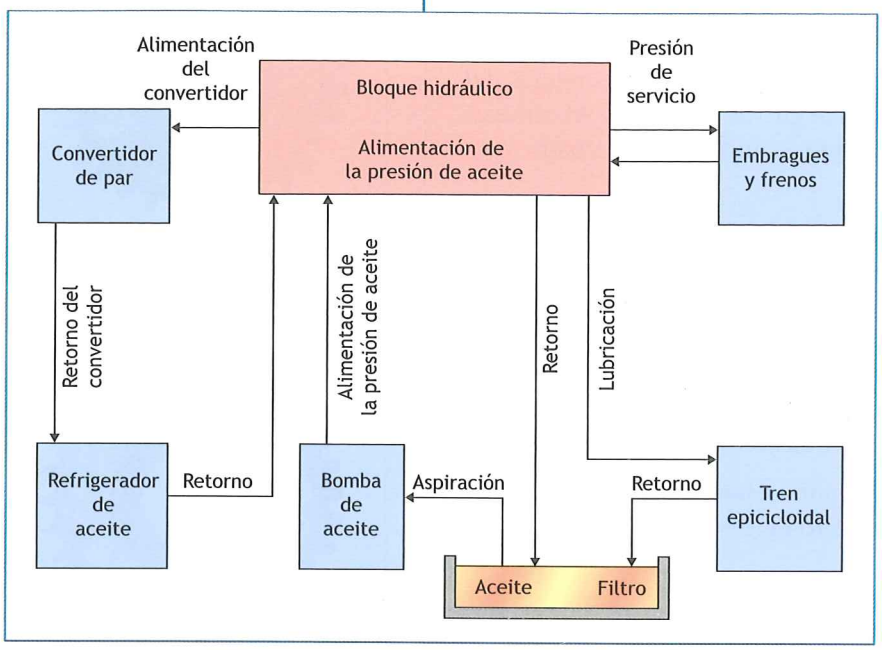
El freno de parking bloquea el giro de una rueda dentada que va colocada en el eje de salida del movimiento de la transmisión automática, lo que a su vez bloquea el giro de las ruedas conectadas a ella.



7.14. Dispositivo del freno de parking.

El varillaje movido por la palanca del cambio acciona el elemento de bloqueo por medio de un pisador, que es una pieza metálica provista de un muelle que lo empuja contra la rueda dentada. Gracias a este muelle, aunque el dedo del elemento de bloqueo no llegue a engranar con la rueda dentada, este se encuentra apretado contra ella y, de este modo, el mínimo giro logra que se engranen y que se produzca el bloqueo.

3 >> Circuito hidráulico de un cambio automático epicicloidal



7.15. Esquema del funcionamiento del circuito hidráulico.

El circuito hidráulico del cambio automático epicicloidal se encarga de generar, regular y distribuir el aceite a presión necesario para:

- Alimentar el convertidor de par.
- Alimentar el embrague anulador del convertidor de par.
- Alimentar los elementos de mando (frenos y embragues) del cambio automático.
- Alimentar el circuito de engrase del cambio.

Para realizar todas estas funciones el circuito hidráulico se compone de los siguientes elementos:

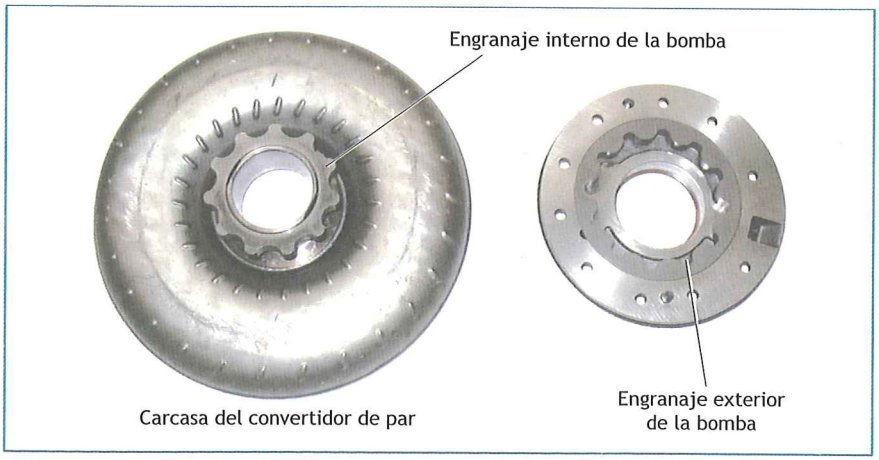
- Bomba de aceite.
- Bloque hidráulico.
- Intercambiador de calor agua-aceite.

3.1 > Bomba de aceite

La bomba de aceite empleada normalmente en estos circuitos hidráulicos es trocoidal o de engranajes interiores, ya que este tipo de bombas son robustas y pueden suministrar una alta presión de trabajo (hasta 25 bares).

Va situada en la carcasa del cambio a continuación del convertidor de par.

El engranaje interno de la bomba es accionado por la carcasa exterior del convertidor de par, por lo que gira cuando el motor se pone en marcha. El aceite a presión se envía al bloque hidráulico, donde se regula su presión y se distribuye su caudal entre los diferentes circuitos del cambio.



7.16. Bomba de aceite de un cambio automático epicicloidal.

3.2 > Bloque hidráulico

Este elemento es la central hidráulica de mando, también llamada caja de correderas, de válvulas, distribuidor hidráulico, etc. Se encarga de regular y distribuir la presión del aceite suministrado por la bomba y de conducirlo a los distintos conductos que componen el circuito hidráulico: circuito del convertidor de par, circuito del embrague anulador del convertidor, circuito de los embragues y de los frenos, circuito de lubricación, etc.

Básicamente, el bloque hidráulico es una carcasa metálica dividida en varias partes y provista de canales por donde circula el aceite. En estos canales se encuentran las distintas válvulas encargadas de regular y distribuir el aceite.

Las válvulas presentes en el bloque hidráulico son de tres tipos:

- Válvulas reguladoras de presión.
- Válvulas distribuidoras.
- Acumuladores de presión.

Estas válvulas pueden ser accionadas manualmente, hidráulicamente o eléctricamente (electroválvulas).

7.17. Bloque hidráulico de un cambio automático epicicloidal.

Válvulas reguladoras de presión

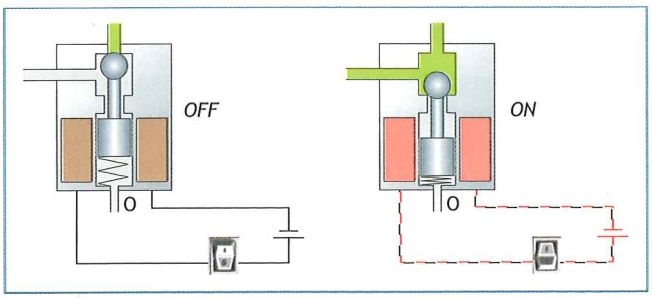
Las **válvulas reguladoras de presión** controlan la presión generada por la bomba para adecuarla a cada uno de los subsistemas que componen el circuito hidráulico.

La presión del aceite en el circuito varía según la situación del motor: a régimen de motor alto (par y carga de motor altos) es necesaria más presión, mientras que al ralentí (par y carga de motor bajos) basta una presión baja en los elementos de mando (frenos y embragues).

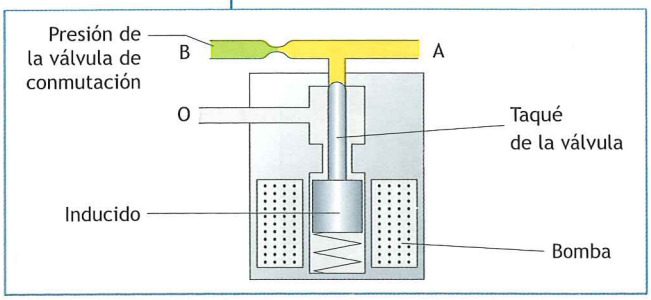
Reduciendo la presión en el circuito cuando no es necesaria, se evita el calentamiento del aceite y disminuyen las pérdidas de energía por accionamiento de la bomba, disminuyendo así el consumo de carburante.

Las electroválvulas pueden ser de dos tipos:

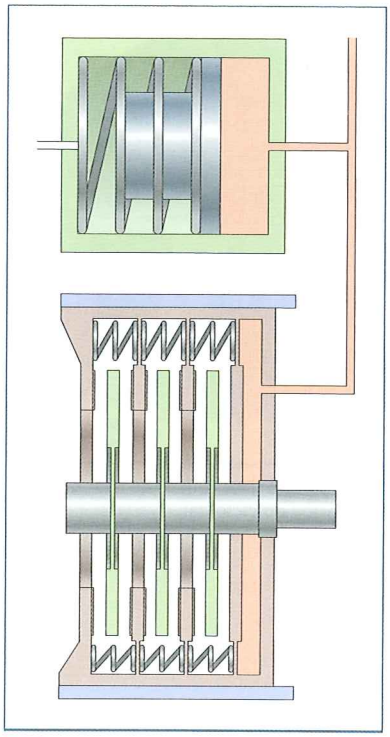
- De **conmutación** de dos posiciones *(on/off)* (figura 7.18): se encargan de comandar el accionamiento de las válvulas distribuidoras mecánicas.
- De **modulación** (figura 7.19): regulan la presión en el circuito en el que van colocadas, abriendo más o menos un orificio al ser alimentadas eléctricamente. Son válvulas proporcionales, es decir, cuanta más intensidad eléctrica reciben, más presión provocan y a la inversa.



7.18. Electroválvula de conmutación *on/off*.



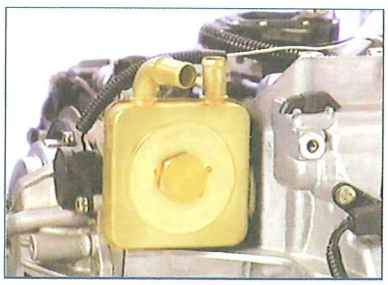
7.19. Electroválvula moduladora de presión.



7.20. Acumulador de un cambio automático epicicloidal.

Temperatura del aceite del cambio automático

La temperatura del aceite del cambio a velocidades normales suele ser de unos 100 °C y bajo condiciones severas de funcionamiento aumenta hasta los 150 °C.

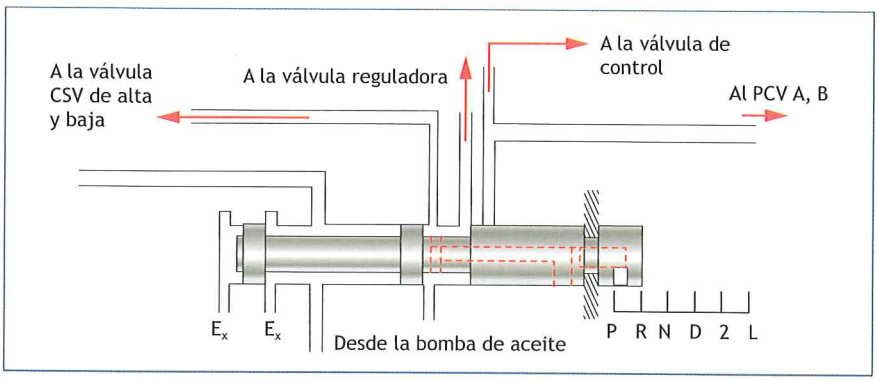


7.22. Intercambiador de calor de un cambio automático epicicloidal.

Válvulas distribuidoras

Las **válvulas distribuidoras** dirigen el aceite a los distintos elementos presentes en el circuito hidráulico. Su accionamiento puede ser eléctrico (electroválvulas), con pilotaje hidráulico o manual.

La válvula distribuidora principal es la válvula manual de corredera que se acciona con la palanca selectora mediante cable y varillaje. Tiene las posiciones marcadas en la palanca selectora («P», «R», «N», «D», etc.). Su función es distribuir el aceite a presión a los diferentes circuitos según la posición en que se halle. El accionamiento utiliza un enclavamiento mecánico para que el distribuidor se mantenga en la posición seleccionada hasta que el conductor varíe la posición de la palanca selectora.



7.21. Válvula manual de corredera.

Acumuladores

Los **acumuladores** (figura 7.20) son unas válvulas formadas por un pistón introducido en un cilindro del bloque hidráulico, con un muelle que lo mantiene empujado contra un lateral. Están colocados en el circuito entre los elementos de mando (frenos y embragues) y las válvulas que distribuyen el aceite a estos elementos. Su función es suavizar el cierre de los elementos de mando valiéndose de que su presión de accionamiento aumenta más despacio debido a que primero se debe comprimir el muelle del acumulador.

El cilindro del acumulador puede disponer de una alimentación de presión del aceite de pilotaje para aumentar la fuerza que ejerce el muelle sobre el pistón. Además, dependiendo del elemento de mando sobre el que actúe, el acumulador podrá tener mayor o menor capacidad cambiando el tarado del muelle.

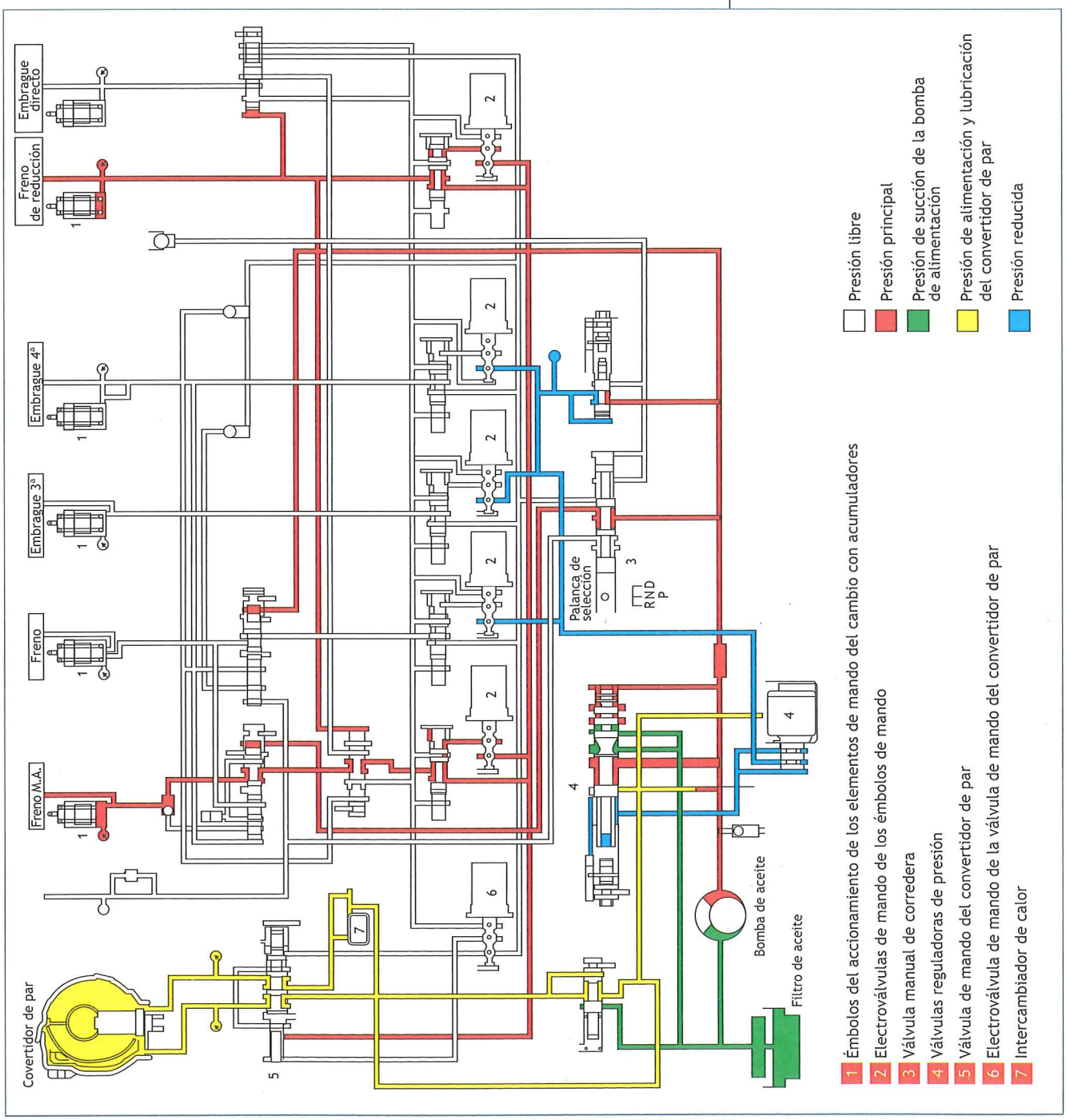
3.3 > Intercambiador de calor agua-aceite

El intercambiador de calor se encarga de enfriar el aceite que sale del convertidor antes de enviarlo al bloque hidráulico. De este modo se consigue evitar que alcance altas temperaturas que puedan degradarlo.

El intercambiador de calor se instala directamente en el cambio y va conectado al circuito de refrigeración del motor (figura 7.22). Algunos sistemas disponen de electroválvulas que regulan el paso del agua a través de él disminuyendo el recorrido del circuito de refrigeración del motor, consiguiendo así que el motor se caliente antes.

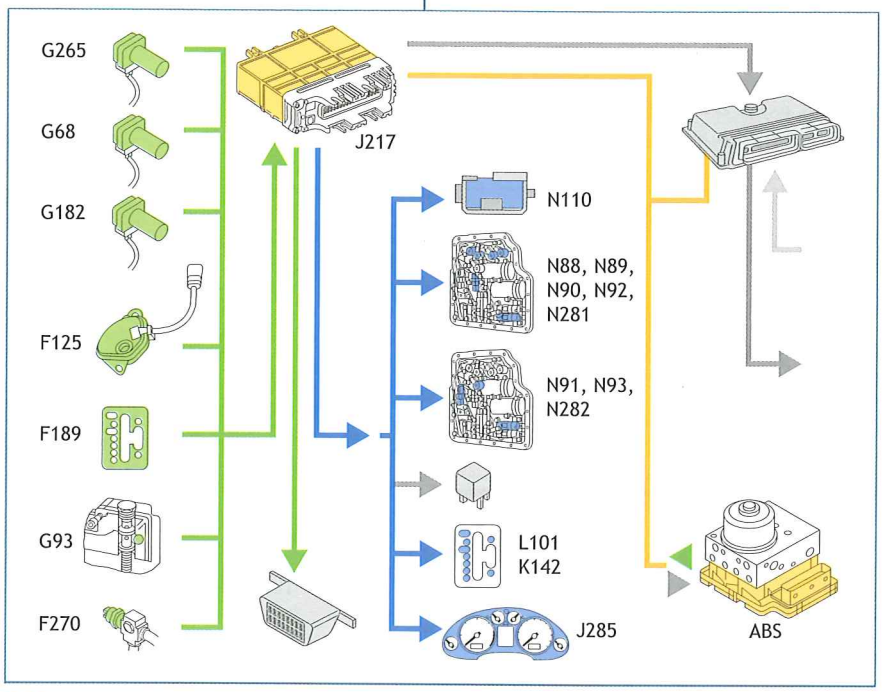
3.4 > Esquema del circuito hidráulico de un cambio automático

El circuito hidráulico se compone, como hemos visto, de un elemento generador de la presión, unos actuadores, unas válvulas reguladoras de presión y unas válvulas distribuidoras que dirigen la presión hidráulica a los cilindros. Para conseguir mayor rapidez en el accionamiento de los cilindros, las válvulas que los alimentan son comandadas por electroválvulas.



7.23. Circuito hidráulico completo de un cambio automático epicicloidal (visualizar en horizontal).

4 >> Circuito eléctrico de un cambio automático epicicloidal



7.24. Esquema del circuito eléctrico del cambio automático epicicloidal.

El circuito eléctrico-electrónico es el encargado de gestionar el funcionamiento de los cambios automáticos epicicloidales. Está formado por la unidad central de control (UCE), los sensores y los elementos actuadores.

4.1 > La unidad central de control (UCE)

La unidad central de control (UCE) (figura 7.25) es el elemento más importante del circuito eléctrico. Se encarga de procesar la información que le llega de los sensores para dirigir los elementos actuadores (principalmente electroválvulas) y conseguir que el conjunto del cambio responda de la manera más apropiada a las condiciones de conducción según el programa de marcha establecido.

7.25. Unidad electrónica de control (UCE) de un cambio automático epicicloidal.

4.2 > Sensores

La UCE de los cambios automáticos epicicloidales actúa de acuerdo a la información que le envían determinados sensores.

Sensores de giro

Los **sensores de giro** que suelen usarse en las cajas de cambios automáticas son inductivos o de efecto Hall y se utilizan, básicamente, para medir dos magnitudes:

- El régimen de entrada al cambio: se mide la velocidad de giro que suministra la turbina del convertidor de par al eje de entrada al cambio. La UCE utiliza esta información para regular los cambios de marchas y para gestionar el cierre del embrague anulador del convertidor.
- El régimen de salida de la caja de cambios: la UCE utiliza esta información para seleccionar los momentos del cambio de marchas y para comprobar el funcionamiento de los elementos de mando.

Algunos cambios presentan más sensores de giro en el eje intermedio.

Sensor de temperatura del aceite de la transmisión

La información que envía este sensor se utiliza para calcular un programa de cambios en la fase de calentamiento. Además, en función de la temperatura del aceite se regulan las presiones de cambio: cuando la temperatura es baja se necesita una presión de cambio alta y, a medida que aumenta, la presión disminuye gradualmente.

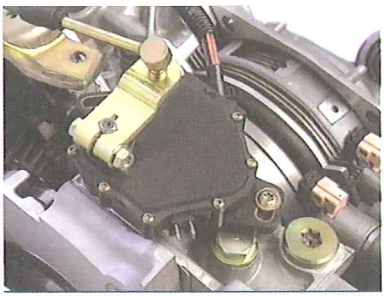
Los antiguos accionamientos

En los antiguos cambios automáticos las distintas válvulas presentes en el circuito hidráulico se accionaban mecánicamente o mediante la depresión del colector de admisión del motor.

Conmutadores multifunción de la palanca selectora

El **conmutador multifunción** colocado en la caja de cambios va instalado en el eje de selección que desplaza la válvula manual de corredera y es accionado mecánicamente desde la palanca selectora (figura 7.26). Este sensor informa de las posiciones de dicha palanca («P», «R», «N», etc.). Con estos datos la UCE gestiona las luces de marcha atrás y bloquea la palanca selectora en las posiciones «P» o «N».

La palanca selectora presenta otro conmutador multifunción que se encarga de informar del modo de funcionamiento secuencial: al desplazar la palanca en un sentido u otro el cambio sube o baja de marchas.



7.26. Conmutador multifunción de un cambio automático epicicloidal.

Conmutador del pedal del freno

Este conmutador indica si está accionado el pedal del freno. Cuando esto ocurre, la UCE realiza los cambios hacia marchas más cortas y, al estacionar el vehículo con una marcha colocada, se reduce la transmisión de par motor.

Señales suministradas vía CAN bus

La UCE del cambio automático está unida mediante una red multiplexada con otras unidades de control del vehículo de las cuales recibe señales codificadas.

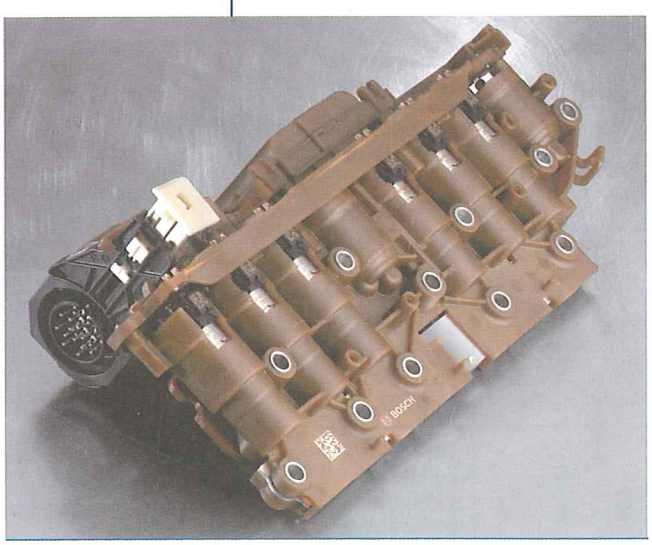
Las unidades que informan a la UCE del cambio automático son:

- UCE motor: informa del régimen del motor y de la posición del pedal acelerador. Con esta información se calcula qué marcha es la más adecuada y cuándo hay que seleccionarla.
- UCE ABS-ESP: informa de si se produce una fase de regulación del ESP o ASR, para que se suspendan los cambios de marchas durante el tiempo de regulación.

4.3 > Elementos actuadores

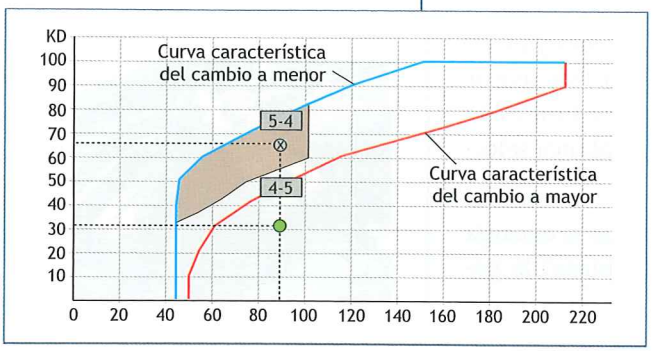
Los actuadores son los elementos que transforman las señales eléctricas suministradas por la UCE en movimientos mecánicos, sonidos, etc. Los principales elementos actuadores son los siguientes:

- **Electroválvulas:** como hemos visto, pueden ser de tipo *on/off* y proporcionales reguladoras de presión.
- **Relé de bloqueo del arranque:** impide el arranque del motor si la palanca selectora está en posiciones distintas de «P» o «N».
- **Electroimán de bloqueo de la palanca selectora:** es el encargado de impedir que la palanca se extraiga de las posiciones «P» o «N» cuando no esté pisado el pedal de freno.
- **Bloqueo antiextracción de la llave de contacto:** impide sacar la llave del contacto si la palanca no está en la posición «P». Puede tratarse de un sistema mecánico o de sistemas electrónicos y electroimanes.



7.27. Conjunto de electroválvulas de un cambio automático epicicloidal.

5 >> Funcionamiento del cambio epicicloidal



7.28. Leyes de paso.

La relación de marchas en modo automático (posición «D») depende principalmente de las siguientes características:

- La posición del pedal acelerador.
- La velocidad del vehículo.
- El par suministrado por el motor, determinado por el ángulo de apertura de la mariposa y las revoluciones de giro.
- El programa específico seleccionado por el conductor.

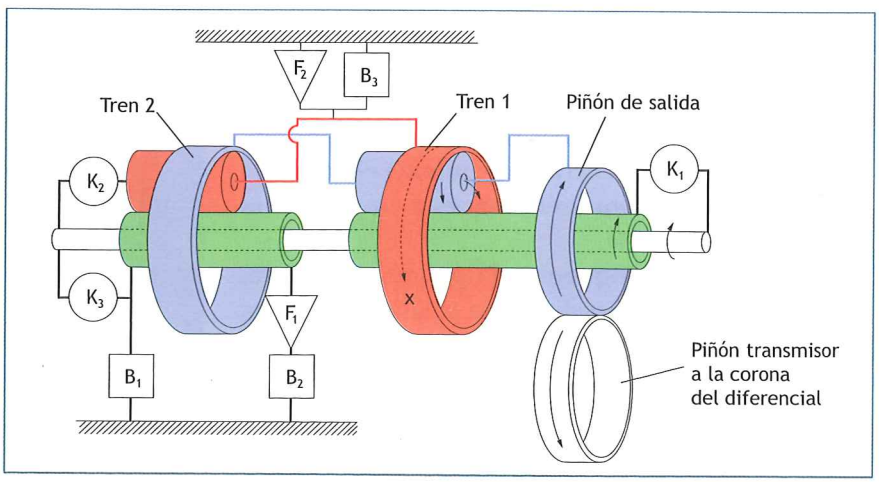
El momento del cambio de marchas viene determinado por unas curvas características programadas en la UCE que dependen del grado de apertura de la mariposa de gases, de la velocidad del vehículo, de la carga motor (posición del pedal acelerador) y del accionamiento del freno.

Estas curvas se denominan **leyes de paso** (figura 7.28) e indican los puntos de cambio de velocidades, los puntos de puenteado del convertidor de par y los puntos de *kick-down*. Estos puntos son distintos si se pasa de una velocidad inferior a una superior o de una superior a la inferior siguiente.

En función de las señales recibidas y del programa que tenga grabado la UCE, se procederá a cambiar de marchas, activando las electroválvulas que accionan los elementos de mando necesarios para realizar el cambio.

Para explicar el funcionamiento de los cambios automáticos epicicloidales vamos a analizar un ejemplo compuesto por dos trenes epicicloidales en un montaje tipo Simpson donde los planetarios son independientes entre sí, la corona del primer tren se une al eje portasatélites del segundo tren y la corona del segundo se une al eje portasatélites del primero. El movimiento sale por este eje portasatélites, el cual termina en un piñón que acciona la corona del diferencial por medio de otro piñón intermedio. El eje de entrada se puede unir a distintos elementos mediante tres embragues. Los elementos de mando están descritos en la tabla del margen.

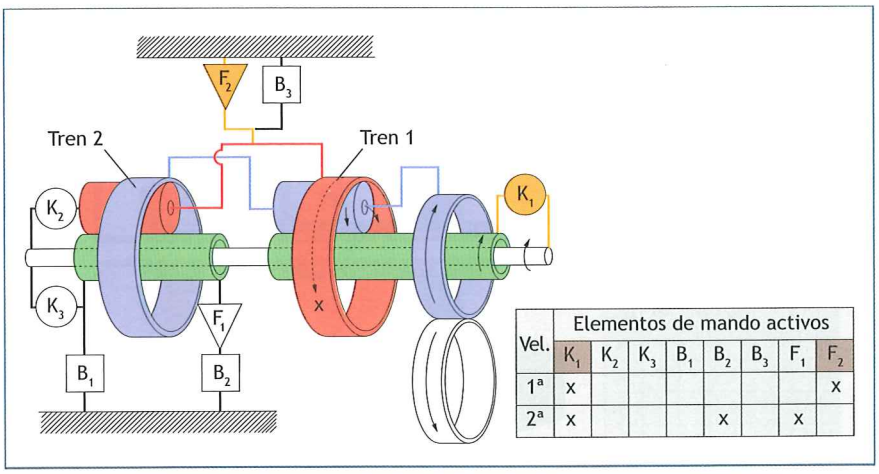
Elemento de mando	Función
K1 (embrague)	Une el eje de entrada al planetario 1
K2 (embrague)	Conecta el eje de entrada al eje portasatélites 2
K3 (embrague)	Une el eje de entrada al planetario 2
B1 (freno)	Bloquea el giro del planetario 2
B2 (freno)	Bloquea el giro de la pista exterior de la rueda libre F1
B3 (freno)	Bloquea el giro de la corona 1 y del eje portasatélites 2
F1 (rueda libre)	Bloquea el giro del planetario 2 en sentido antihorario cuando está accionado el freno B2
F2 (rueda libre)	Bloquea el giro de la corona 1 y del eje portasatélites 2 en sentido antihorario



7.29. Esquema del cambio automático epicicloidal tipo Simpson del ejemplo.

En el proceso del cambio de velocidades se conectan y desconectan los elementos de mando para conseguir las distintas relaciones de transmisión. Esta conexión y desconexión hidráulica de los elementos de mando se hace de forma cruzada para evitar tirones durante el cambio de velocidades.

En la 1ª velocidad se acciona el embrague K1, conectándose el eje de entrada al planetario del primer tren. La rueda libre F1 bloquea el giro de la corona en sentido contrario a las agujas del reloj. Entonces el giro del planetario 1 produce el giro del eje portasatélites 1 en su misma dirección y con una gran desmultiplicación del giro. El eje portasatélites 1 es solidario al piñón que engrana con el piñón intermediario, el cual, a su vez, engrana con la corona del diferencial.

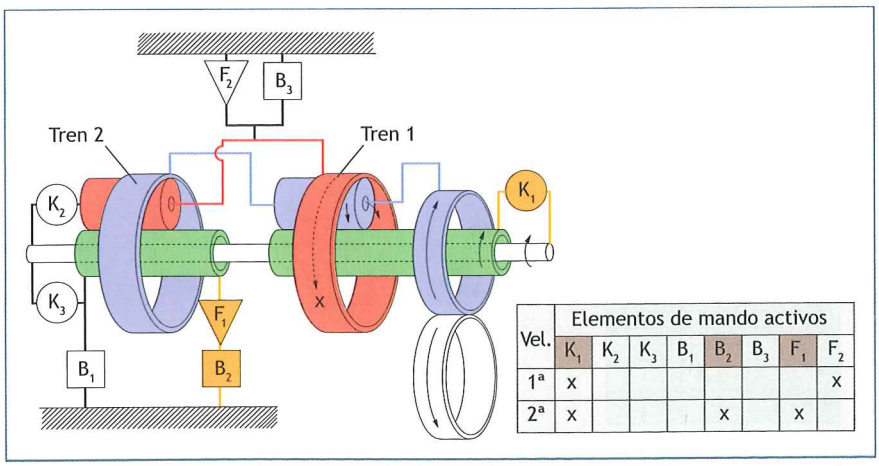


Vel.	Elementos de mando activos							
	K_1	K_2	K_3	B_1	B_2	B_3	F_1	F_2
1ª	x							x
2ª	x				x		x	

7.30. Esquema del cambio automático epicicloidal tipo Simpson del ejemplo en la 1ª velocidad.

En la 2ª velocidad interviene también el tren epicicloidal 2 al accionarse el freno B2. Como ahora el planetario 2 se bloquea, el movimiento se transmite al eje portasatélites 2 por medio de la corona 2.

En este caso el eje portasatélites gira en sentido horario, por lo que la corona 1 ya gira y transmite el movimiento al eje portasatélites 1, logrando una desmultiplicación de giro menor que en la 1ª velocidad.



Vel.	Elementos de mando activos							
	K_1	K_2	K_3	B_1	B_2	B_3	F_1	F_2
1ª	x							x
2ª	x				x		x	

7.31. Esquema del cambio automático epicicloidal tipo Simpson del ejemplo en 2ª velocidad.

El punto de *kick-down*

El punto de *kick-down* señala que el pedal del acelerador se ha pisado a fondo, para que se proceda a la reducción de velocidades y que aumente así rápidamente la aceleración del vehículo.

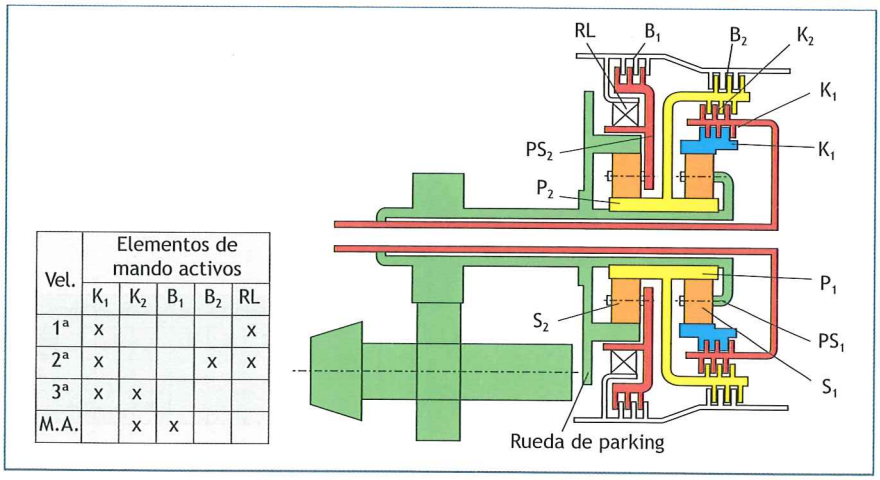
6 >> Arquitectura de distintos cambios automáticos epicicloidales

A continuación se muestran distintos cambios automáticos atendiendo a los componentes epicicloidales y los elementos de mando.

6.1 > Cambio con tres velocidades

Este cambio consta de dos trenes epicicloidales iguales que están unidos formando una unión tipo Simpson 1: los planetarios P1 y P2 son solidarios y el eje portasatélites del primer tren está unido a la corona del segundo.

Presenta dos embragues (K1 y K2), dos frenos (B1 y B2) y una rueda libre (RL).

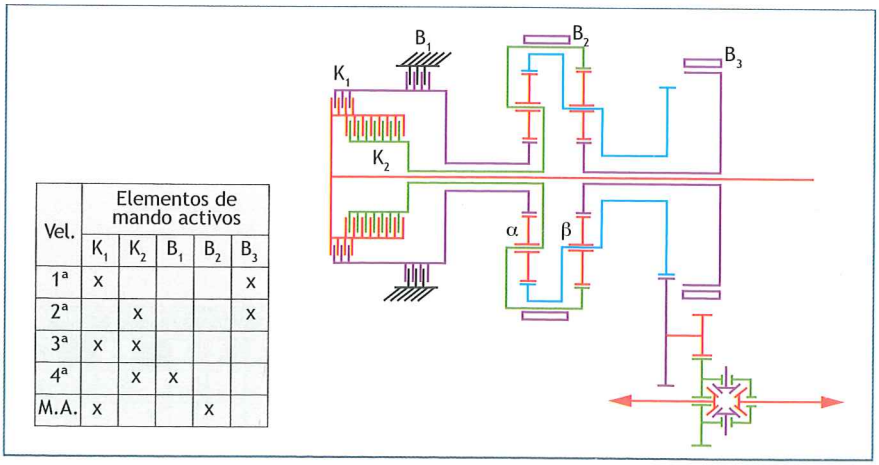


Vel.	Elementos de mando activos				
	K_1	K_2	B_1	B_2	RL
1ª	x				x
2ª	x			x	x
3ª	x	x			
M.A.		x	x		

7.32. Esquema del cambio automático epicicloidal con tres velocidades.

6.2 > Cambio con cuatro velocidades

Este cambio consta de dos trenes simples iguales. Un eje portasatélites de un tren se une con la corona del otro tren y el movimiento sale por el eje portasatélites del primero. Posee dos embragues (K1 y K2) y tres frenos, dos de cinta (B2 y B3) y uno multidisco (B1).

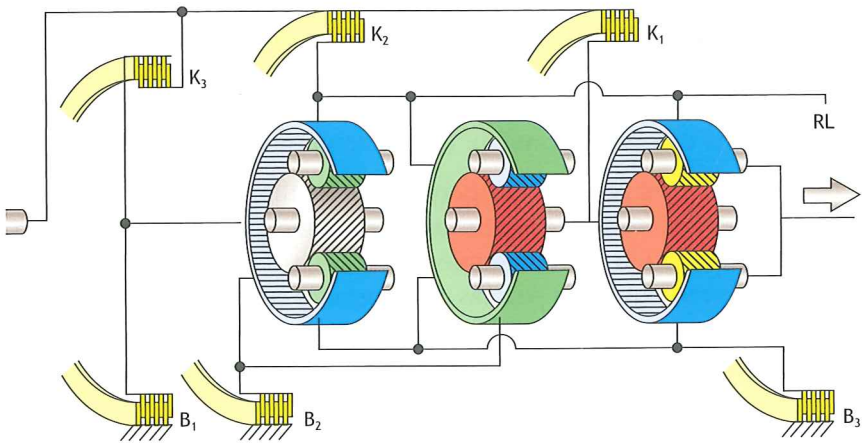


Vel.	Elementos de mando activos				
	K_1	K_2	B_1	B_2	B_3
1ª	x				x
2ª		x			x
3ª	x	x			
4ª		x	x		
M.A.	x			x	

7.33. Esquema del cambio automático epicicloidal con cuatro velocidades.

6.3 > Cambio con cinco velocidades

Este cambio presenta tres trenes epicicloidales sencillos con un montaje tipo Wilson. El cambio tiene tres embragues (K1, K2 y K3), tres frenos (B1, B2 y B3) y una rueda libre (RL).

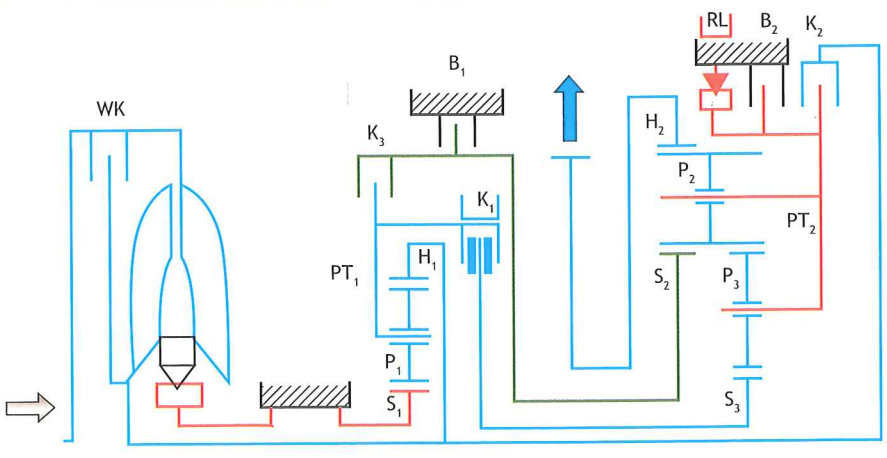


Vel.	Elementos de mando activos						
	K_1	K_2	K_3	B_1	B_2	B_3	RL
1ª	x				FM	x	x
2ª	x			x	x		
3ª	x		x				
4ª	x	x					
5ª		x	x				
M.A.		x		x			

7.34. Esquema del cambio automático epicicloidal con cinco velocidades.

6.4 > Cambio con seis velocidades

Según el modelo de Lepelletier, consta de un tren epicicloidal sencillo unido a un tren doble Ravigneaux con cinco elementos de mando, tres embragues (K1, K2 y K3), dos frenos (B1 y B2) y una rueda libre (RL).

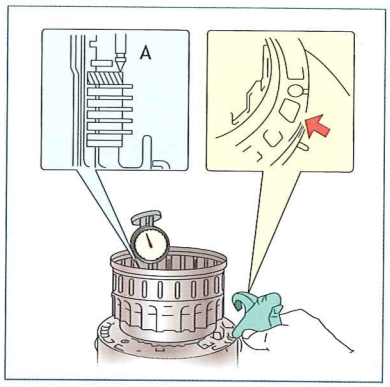


Vel.	Elementos de mando activos					
	K_1	K_2	K_3	B_1	B_2	RL
1ª	x				FM	x
2ª	x			x		
3ª	x		x			
4ª	x	x				
5ª		x	x			
6ª		x		x		
M.A.			x		x	

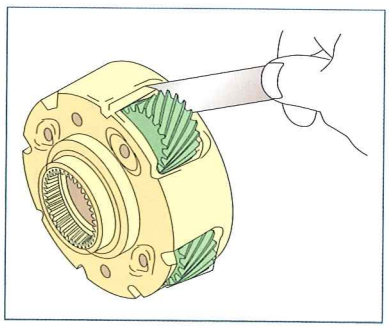
7.35. Esquema del cambio automático epicicloidal con seis velocidades.

En este cambio el planetario del tren sencillo está quieto al hallarse unido a la carcasa. El giro de la turbina entra siempre a la corona del primer tren y el eje portasatélites de este primer tren es solidario al planetario pequeño del tren doble Ravigneaux.

La característica especial de este cambio es que el giro puede entrar al tren Ravigneaux por dos elementos al mismo tiempo.



7.36. Análisis del juego del paquete de discos.



7.37. Comprobación de la holgura axial entre los satélites y su elemento portador.

Precaución

Al retirar los trenes epicicloidales de los conjuntos es necesario prestar atención a los rodamientos axiales colocados en sus extremos.

7 >> Verificación y comprobación de las cajas de cambio automáticas epicicloidales

7.1 > Comprobación de los elementos mecánicos

Comprobación de los elementos de mando

Las comprobaciones que se deben realizar en los **embragues** y en los **frenos multidisco** son similares, teniendo en cuenta que los anillos de cierre del paquete multidisco y los émbolos de accionamiento de los frenos están en la carcasa del cambio. Dichas comprobaciones son:

- Analizar el estado de las superficies de los discos que componen el embrague para ver si están deformadas o presentan coloración que indique que han sufrido un calentamiento excesivo. Si el forro de fricción de los discos presenta zonas peladas o desgastadas en exceso, se deben cambiar todos los discos del conjunto. Antes de montar los discos nuevos hay que sumergirlos en aceite de transmisión automática por lo menos durante 15 minutos.
- Analizar el juego del paquete de discos con su anillo de cierre en el portadiscos exterior. Para realizar esto se tiene que presionar el conjunto de discos con una fuerza determinada, midiendo la holgura con unas galgas o con un reloj comparador. Esta holgura está indicada en el manual del fabricante (suele ser de entre 0,40 y 0,80 mm). Si es superior a la permitida, se debe seleccionar un disco final que la corrija (figura 7.36).
- Analizar el estado de los muelles de retroceso del pistón de accionamiento del embrague. El embrague puede presentar muelles o resorte de diafragma. Para realizar esta comprobación se mide la longitud del muelle. Si no es la especificada por el fabricante, se debe cambiar todo el conjunto de muelles con el disco de apriete.

Las principales comprobaciones de los **frenos de cinta** que deben realizarse son la revisión del punto de apoyo y del mecanismo de accionamiento del freno de cinta, y la comprobación del estado de la superficie de fricción del freno de cinta.

Para comprobar el funcionamiento de las ruedas libres se debe proceder a girarlas en los dos sentidos. Ha de observarse que el giro solo es posible en uno de ellos.

Comprobación de los trenes epicicloidales

Las principales comprobaciones que se deben realizar en los trenes epicicloidales de una caja de cambios automática son las siguientes:

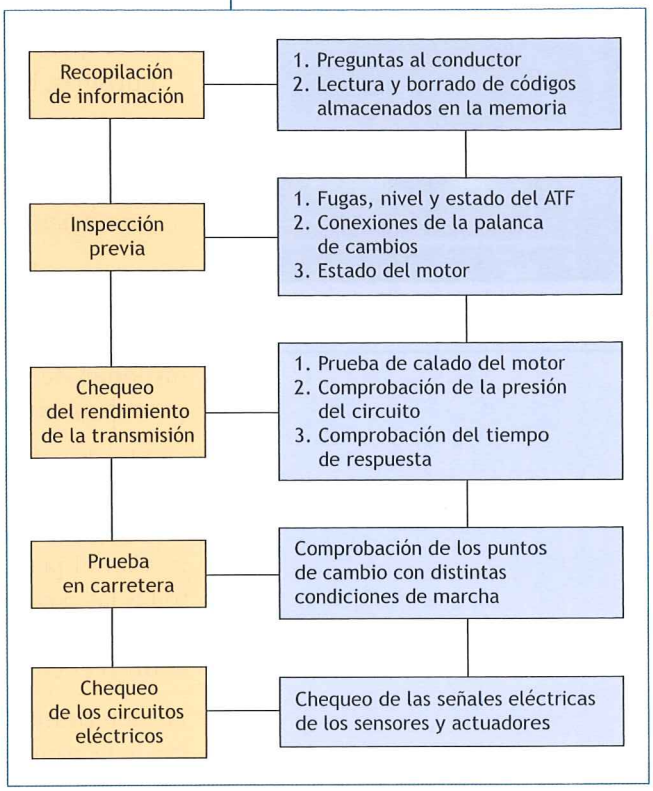
- Analizar el estado del dentado de los tres elementos.
- Analizar en el eje portasatélites la holgura axial entre los satélites y su elemento portador (figura 7.37) y la holgura radial entre ellos y sus respectivos ejes.

Las comprobaciones que se realizan sobre los ejes que soportan los distintos elementos de los trenes son similares a las que necesitan los árboles de las cajas de cambio manuales, analizándose su excentricidad con un reloj comparador y el desgaste de sus puntos de apoyo con un micrómetro.

8 >> Proceso de diagnóstico de averías en las cajas de cambios epicicloidales

Para averiguar las causas de las averías producidas en los cambios automáticos es necesario seguir un determinado proceso en el diagnóstico, gracias al cual solucionaremos el problema con mayor rapidez y precisión. De este modo se consigue también que la reparación sea más fiable y económica, ya que evita desmontar elementos innecesarios.

A continuación se explican los pasos a seguir, como norma general, en el proceso de diagnóstico de averías en las transmisiones automáticas.



7.38. Proceso de diagnóstico de averías en los cambios automáticos.

8.1 > Recogida de información sobre las anomalías en el cambio automático

El primer paso en el procedimiento de diagnóstico es recopilar toda la información posible (figura 7.38):

- La suministrada por el conductor con respecto a las anomalías observadas (cuándo, cómo y cuántas veces se han producido).
- La información almacenada en la memoria permanente de la UCE del cambio automático (figura 7.39). Una vez leídos los códigos de error almacenados en la memoria, deben borrarse para que, cuando se realice la prueba en carretera, se pueda comprobar si vuelven a aparecer.

8.2 > Comprobación del estado del fluido del cambio automático (ATF)

Es muy importante verificar que no existan fugas de aceite ya que, si desciende el nivel de aceite aconsejado por el fabricante, puede ocasionar desgastes prematuros en los discos de los elementos de mando debidos a una disminución de la presión en los circuitos del cambio automático.

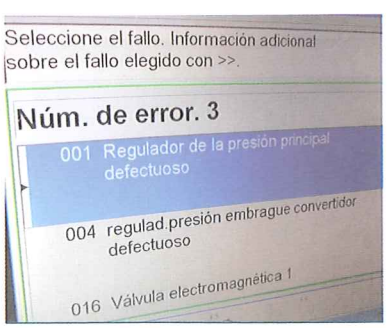
Las tres comprobaciones del aceite de la transmisión automática que deben realizarse son: fugas, nivel y estado.

Comprobación de fugas de aceite en la transmisión

Esta comprobación consiste en realizar un examen visual del exterior del cambio automático.

Para conseguir detectar con precisión el punto de una fuga de aceite, se puede espolvorear talco sobre la carcasa del cambio automático. Así, cuando se produzca la fuga de aceite, quedarán marcadas las zonas de la carcasa del cambio por las que ha salido.

Otro método que se usa para detectar los puntos de fuga es la utilización de pinturas que reaccionan con el aceite fugado del cambio dejando marca.



7.39. Obtención de los códigos de error de la memoria de la UCE.

7.40. Varilla de comprobación del nivel de aceite de una caja de cambios automática.

Comprobación del nivel de aceite

Es muy importante verificar que el nivel de aceite del cambio automático es correcto, ya que, de no ser así, el sistema puede verse afectado:

- Si el nivel es bajo, la bomba aspira aire y manda al circuito aceite con burbujas, bajando la presión del sistema, lo que produce deslizamientos y daños en los discos de los embragues y los frenos.
- Si el nivel es alto, los engranajes planetarios, al girar, agitan el fluido, provocando la formación de burbujas y espumas que causan similares consecuencias a las originadas cuando el nivel es bajo.

Esta comprobación difiere de un fabricante a otro. Algunos cambios presentan una varilla para medir el nivel de aceite (figura 7.40) en la cual se indica el nivel adecuado del fluido frío y caliente. Otros, sin embargo, no disponen de varilla y la comprobación se lleva a cabo según el siguiente procedimiento general:

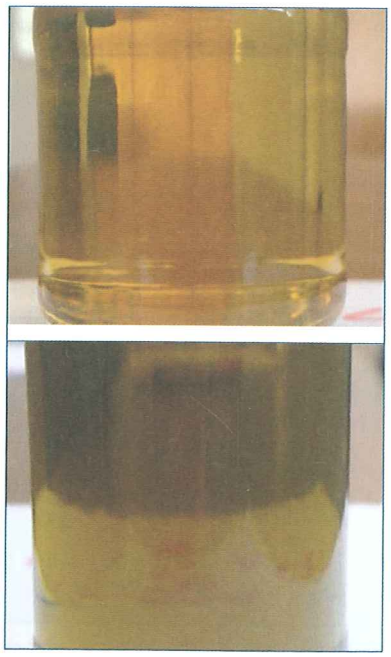
1. El vehículo debe encontrarse sobre una superficie plana, con el motor girando a ralentí, y el aceite de la transmisión debe estar frío, entre 30 y 35 °C. La temperatura nos la indica la máquina de diagnosis.
2. Con el pedal del freno pisado, se desplaza la palanca de cambios por todas las posiciones hasta volver finalmente a la posición «P».
3. Entonces se desenrosca el tapón de llenado y, si sale un poco de aceite, el nivel es correcto.

En determinadas transmisiones automáticas es necesario comprobar el nivel de aceite del grupo diferencial, ya que posee su propia carcasa.

Comprobación del estado del fluido

Es importante observar el estado del fluido, pues este nos indica el estado interno del cambio automático. Su color, consistencia y olor nos proporcionan una valiosa información.

El color del fluido varía dependiendo del fabricante, pero ha de ser transparente, pues tiende a oscurecerse con el uso (figura 7.41).

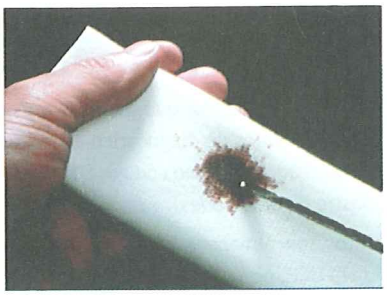


7.41. Color de dos ATF distintos.

El fluido, además, puede tener contaminantes metálicos o agua o estar quemado. Esto nos indica determinadas averías:

- **Fluido con aspecto quemado:** si el color del fluido es muy oscuro, casi negro, y tiene olor a quemado, nos indica que existe una avería grave en el cambio automático, como es que los embragues estén quemados o el convertidor de par deteriorado.
- **Fluido con restos metálicos o trozos de embragues y frenos:** indica un desgaste interno en el cambio, concretamente en los forros de fricción de los embragues y los frenos. Además, el tipo de metal que aparezca en el fluido nos proporcionará información acerca del elemento averiado:
  - **Partículas de aluminio:** (no son atraídas por el imán del cárter de aceite) indican desgastes en el cuerpo de las válvulas o en la carcasa del cambio.
  - **Partículas de color cobre:** indican problemas en arandelas o juntas de cierre.
  - **Partículas de acero:** indican desgastes en la bomba, el convertidor de par o los engranajes epicicloidales.

– **Fluido con restos de agua:** el agua mezclada con el aceite de la transmisión automática da lugar a un líquido con apariencia lechosa, lo que indica pérdidas en el intercambiador de calor utilizado para enfriar al ATF. Cuando aparece esta avería, debe sustituirse la caja de cambios entera, ya que los forros de fricción de los embragues y los frenos son de material higroscópico y, aunque se cambie el aceite, aquel ya está dañado y puede generar averías en poco tiempo.



7.42. Examen visual del estado del fluido.

8.3 > Comprobación del estado del convertidor de par y de la presión hidráulica

Comprobación del estado del convertidor de par

Para verificar el estado del convertidor de par y comprobar si existen deslizamientos en los embragues multidisco que componen el cambio, se realiza la prueba denominada calado del motor, que consiste en ver las revoluciones máximas a las que se cala el motor con la palanca en posición «D» y el vehículo frenado. Esta prueba se explicó en el caso final de la Unidad 3.

Comprobación de la presión hidráulica

La presión se mide en ralentí, en aceleración y a las revoluciones de calado del motor. Cada cambio automático dispone de diferentes puntos donde se colocan los manómetros para realizar las distintas mediciones.

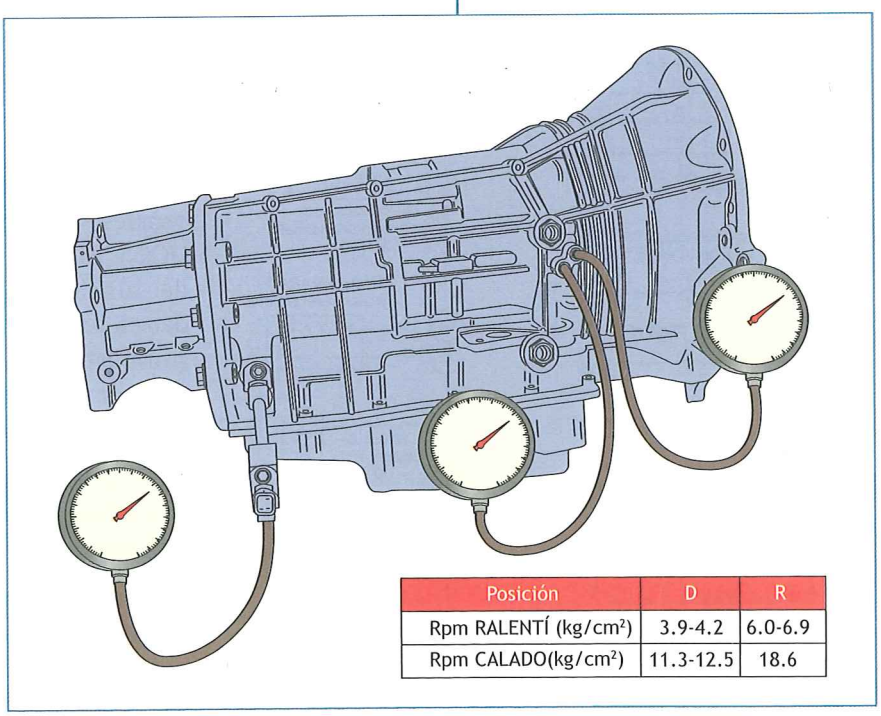
Una vez leídos los datos sobre la presión, deben compararse con los que aparecen en el manual de reparaciones del vehículo para determinar la causa del exceso o defecto del nivel de la presión del circuito hidráulico.

Comprobación del tiempo de respuesta

El tiempo de respuesta es el tiempo que tarda la transmisión automática en seleccionar una velocidad desde que la palanca de cambios sale de la posición «N» y se desplaza a la posición «D» o «R».

Si el tiempo observado es mayor que el señalado en el manual de reparaciones, la presión de línea es baja. Esta comprobación también permite determinar el estado de los embragues de la 1ª velocidad y de la marcha atrás.

La comprobación se realiza colocando el vehículo en una superficie plana a ralentí y con el freno de mano activado. La palanca se desplaza desde la posición «N» hasta la «D», midiendo el tiempo que tarda en seleccionarse la velocidad. A continuación se hace lo mismo con la posición «R».



Posición	D	R
Rpm RALENTÍ (kg/cm²)	3.9-4.2	6.0-6.9
Rpm CALADO(kg/cm²)	11.3-12.5	18.6

7.43. Puntos de comprobación de la presión hidráulica de un cambio automático.

Los códigos de error

Los códigos de error que suministran los distintos útiles de diagnóstico aparecen en las máquinas como códigos DTC *(diagnostic trouble codes)*.

Estos son almacenados en la memoria de la UCE, pero, según el tipo de códigos que sean, quedarán registrados en la memoria permanente cuando el fallo se produzca una vez o cuando tenga lugar una serie de veces.

8.4 > Prueba en carretera

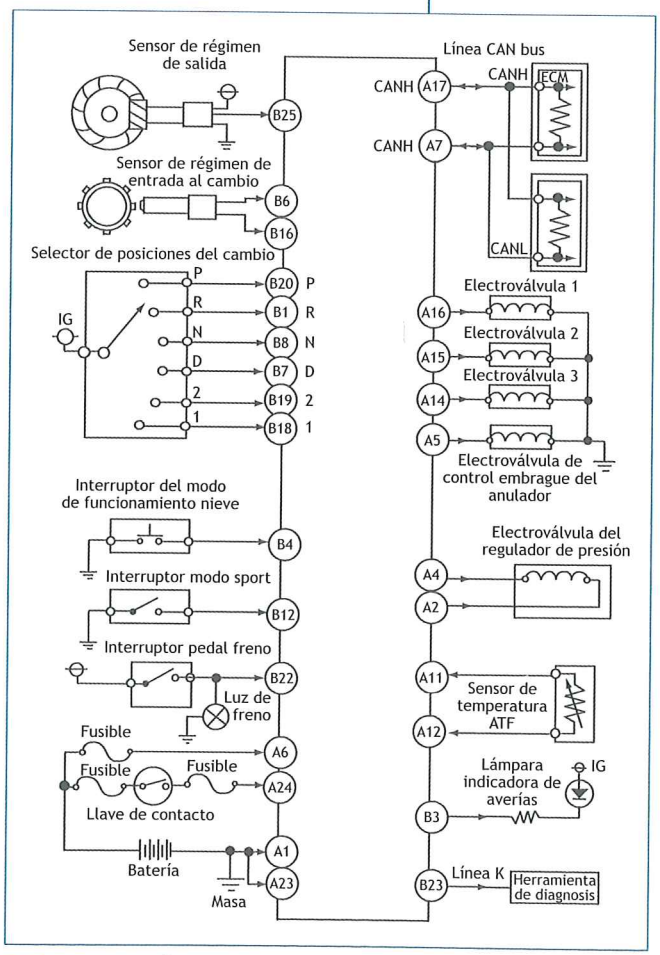
La prueba en carretera nos permitirá comprobar las quejas enunciadas por el cliente y observar directamente los fallos de la transmisión automática.

Para ello, durante la prueba se han de realizar maniobras que permitan examinar cómo se comporta exactamente la transmisión. De este modo, cada paso llevado a cabo nos ayudará a determinar un tipo de fallo específico. Al final de la prueba en carretera se debe indicar con la mayor precisión posible qué elemento o elementos funcionan incorrectamente en la transmisión.

Es necesario consultar el manual de reparación para saber bajo qué condiciones de circulación del vehículo el cambio automático realiza el cambio de marchas y así poder reproducirlas en la prueba en carretera y observar si dichos cambios se realizan correctamente.

Como se sabe qué elementos de mando (embragues, frenos y rueda libre) junto con sus correspondientes electroválvulas intervienen en la selección de cada una de las marchas, podremos averiguar qué elemento del cambio no actúa correctamente, lo que puede deberse a que esté defectuoso o a que la electrónica que lo activa no funcione correctamente.

8.5 > Comprobaciones eléctricas



7.44. Esquema eléctrico de las transmisiones automáticas.

Para que el cambio de marchas tenga lugar el sistema debe recibir una serie de señales eléctricas. Debemos, por lo tanto, comprobar estas señales y verificar y reparar los circuitos eléctricos que componen la gestión electrónica del cambio.

Para poder realizar estas comprobaciones electrónicas la UCE del cambio automático dispone de las conexiones apropiadas para conectar los aparatos de diagnóstico indicados por el fabricante.

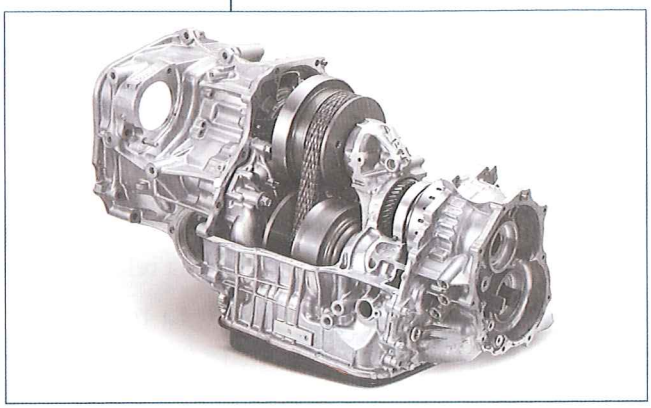
Estos útiles de diagnóstico permiten realizar cada vez mayores pruebas que verifican los circuitos eléctricos de la transmisión automática. Obtienen medidas de las señales suministradas por los distintos sensores a la UCE y estas medidas determinan si el fallo proviene del funcionamiento interno de la transmisión o si se debe a un funcionamiento erróneo de los sensores que suministran las distintas informaciones necesarias para realizar el cambio de marchas.

Aunque cada útil de diagnóstico nos aportará unas pruebas determinadas, todos ellos suministran los distintos códigos de error que indican que algún elemento está funcionando incorrectamente.

Si bien, cuando un útil de diagnóstico indica que un elemento funciona incorrectamente, este no debe ser sustituido antes de comprobar sus conexiones eléctricas, las posibles derivaciones o cortocircuitos y el propio elemento fuera del circuito.

9 >> Cambio automático de variación continua (CVT)

En el cambio automático CVT *(continuously variable transmission)* la transmisión del movimiento se realiza mediante dos poleas, una conductora y otra conducida, y una cadena, que funciona como medio de transmisión del movimiento. La polea conductora es accionada por el motor y la polea conducida es solidaria al piñón de accionamiento del diferencial.



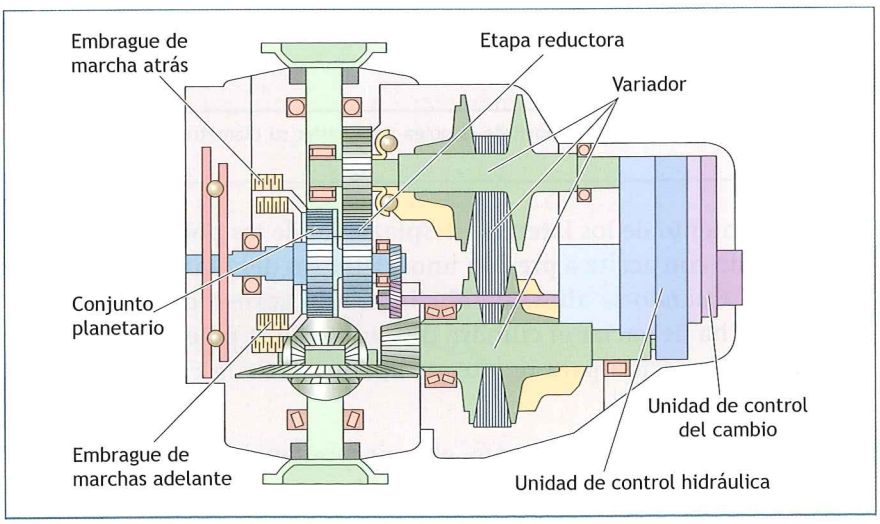
7.45. Caja de cambios automática de variación continua.

En este tipo de cambio automático las distintas relaciones de transmisión se realizan variando el diámetro de las dos poleas. Esta variación tiene lugar sin escalonamientos, de forma continua, para conseguir que el motor gire a las revoluciones óptimas de funcionamiento.

Además, la variación de los diámetros de las dos poleas tiene que realizarse de forma simultánea para que la cadena se mantenga en todo momento tensa entre las dos. En caso contrario, se producirían resbalamientos entre polea y cadena, cesando la transmisión del giro.

Los componentes fundamentales del cambio de variación continua son los siguientes (figura 7.46):

- **Embrague de entrada:** como elementos transmisores de movimiento desde el motor al cambio automático pueden aparecer un convertidor de par, embragues de discos múltiples o un embrague electromagnético.
- **Conjunto variador:** compuesto por las poleas de accionamiento y la cadena transmisora del movimiento.
- **Tren epicicloidal:** encargado de invertir el giro para la marcha atrás.
- **Circuito hidráulico y electrónico:** estos circuitos funcionan de manera similar al que se encuentra en los cambios epicicloidales, con la salvedad de que ahora los elementos actuadores son los cilindros de accionamiento de las dos poleas del mecanismo variador.



7.46. Componentes de un cambio automático de variación continua (CVT).

9.1 > Conjunto variador

El conjunto variador es el corazón del cambio CVT, ya que se encarga de proporcionar las distintas relaciones de transmisión de que consta este tipo de transmisión automática. Se compone de las dos poleas de diámetro variable y de la cadena de transmisión

Poleas

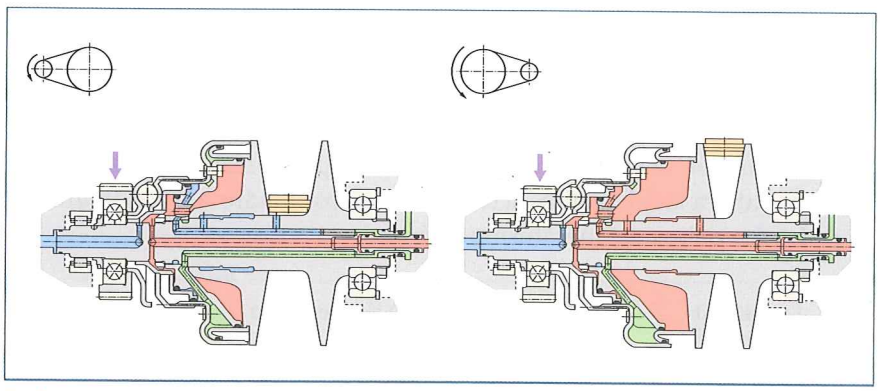
Las poleas conductora (primaria) y conducida (secundaria) presentan un lateral cónico desplazable para poder variar su diámetro y, en consecuencia, la relación de transmisión del conjunto.

La transmisión del movimiento se produce por la fricción que se crea entre los laterales de las poleas y la cadena. Por tanto, la fuerza de apriete de los laterales desplazables ha de ser alta para que no exista resbalamiento entre la polea y la cadena, ya que la unión cadena-polea posee un coeficiente de adherencia bajo por ser una fricción metal-metal.

La apertura o cierre del lateral desplazable de las poleas se realiza mediante presión hidráulica ejercida en la polea conductora y mediante un muelle y presión hidráulica ejercida en la conducida.

El desplazamiento de los laterales móviles de las dos poleas se realiza de forma sincronizada: si la conductora se cierra, la conducida se abre y viceversa. Con este movimiento de las poleas se varía la relación de transmisión de forma continuada desde la relación de transmisión corta (2,40) a la más larga (0,42).

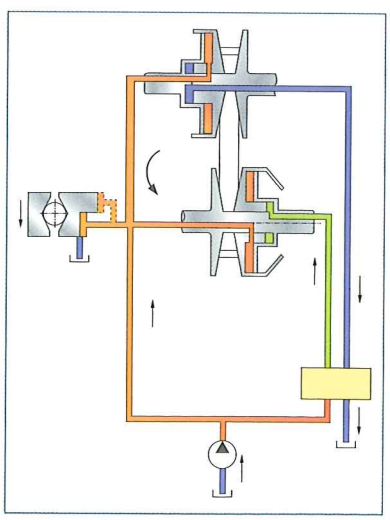
7.47. Polea de un cambio CVT.



7.48. Desplazamiento de la tapa móvil de la polea para variar su diámetro desde el mínimo al máximo.

El accionamiento de los laterales desplazables de las poleas se consigue alimentando con aceite a presión unos cilindros denominados cilindros de apriete. Cuando se alimenta el cilindro de apriete de la polea conductora, se ha de vaciar el cilindro de apriete de la polea conducida en la misma proporción para mantener la tensión de la cadena entre las dos poleas.

Como hemos visto anteriormente, el aceite contenido en los cilindros de apriete ha de tener una determinada presión para conseguir el agarre necesario entre la polea y la cadena. Esta presión de apriete debe aumentar con el aumento del par motor que se debe transmitir.



7.49. Esquema hidráulico del accionamiento compensado de las poleas variables.

Para producir un rápido ajuste del diámetro de las dos poleas se necesita una bomba que suministre un gran caudal de aceite a elevada presión, lo que provoca un menor rendimiento energético de esta transmisión.

Con el fin de mejorar el rendimiento de este mecanismo, algunos sistemas disponen de dos cilindros colocados en serie que accionan las tapas móviles de las dos poleas, uno llamado cilindro de ajuste y el otro cilindro de apriete. El cilindro de ajuste se encarga de realizar rápidamente la variación del diámetro de las poleas para conseguir una transmisión de giro rápida y el cilindro de apriete se encarga de apretar con una determinada fuerza la tapa desplazable de las poleas.

Para saber en cada momento qué presión de apriete es la necesaria para evitar el resbalamiento entre la cadena y las poleas existe un sensor de par que indica esta presión al circuito hidráulico.

Cadena de transmisión

La cadena es el elemento encargado de transmitir el movimiento de la polea conductora a la polea conducida. Esta cadena está sometida a grandes esfuerzos, por lo que debe reunir determinadas características.

Estas son las características más importantes que tiene que cumplir la cadena:

- Ser capaz de transmitir un elevado par (250-300 Nm).
- Permitir radios pequeños de giro.
- Generar muy pequeñas pérdidas de energía por la fricción de los elementos que la componen. El deslizamiento entre cadena y poleas ha de ser lo más reducido posible para disminuir las pérdidas de rendimiento de la transmisión.
- Producir en funcionamiento el menor ruido posible.

Debido al gran par motor que debe transmitir, la cadena del variador es de metal.

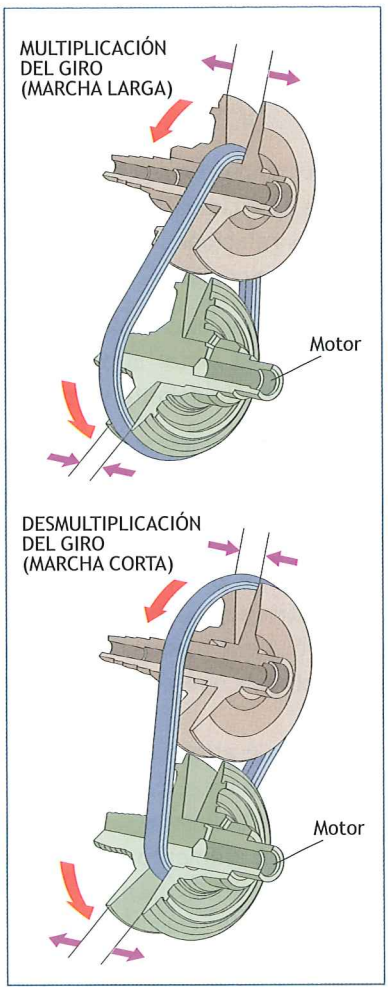
Existen cadenas de tipo articulado y de láminas (figura 7.51). Las de láminas presentan una mayor capacidad de transmisión de par y permiten un menor radio de trabajo de la polea conductora.

9.2 > Tren epicicloidal de los cambios CVT

El tren epicicloidal permite invertir el giro de entrada al cambio para conseguir la marcha atrás. Para ello, el planetario va conectado al eje de entrada al cambio, el eje portasatélites acciona la polea conductora y la corona es independiente.

Este engranaje actúa de la siguiente forma en los cambios CVT:

- Para conseguir la marcha adelante, el embrague de discos conecta el planetario al eje portasatélites, para hacer que el giro no cambie de sentido.
- Para conseguir la marcha atrás, el embrague de discos bloquea el giro de la corona. De este modo el giro pasa del planetario al eje portasatélites a través de los satélites, logrando invertir el sentido de giro de entrada al cambio.



7.50. Variación de la relación de transmisión en un cambio CVT.

7.51. Cadenas de un cambio CVT.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

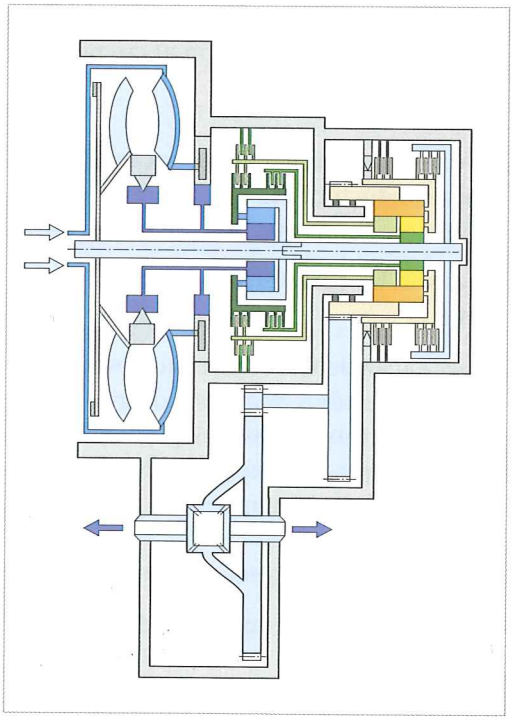
1·· Tomando como referencia la caja de cambios de tres velocidades mostrada en la teoría y sabiendo que los dos trenes epicicloidales son iguales, con planetarios de 31 dientes, satélites de 16 dientes y coronas de 62 dientes, calcula las relaciones de transmisión en el eje de salida del piñón de accionamiento de la corona del diferencial para las tres velocidades hacia delante y para la marcha atrás en el mecanismo epicicloidal.

2·· Siguiendo el dibujo y la tabla del cambio de cuatro velocidades del epígrafe 6.2, indica por dónde entra el movimiento del motor al cambio, por dónde sale y qué elementos se unen entre sí o se bloquean en cada una de las marchas hacia delante y en la marcha atrás.

3·· Realiza el ejercicio anterior con un cambio de cinco velocidades.

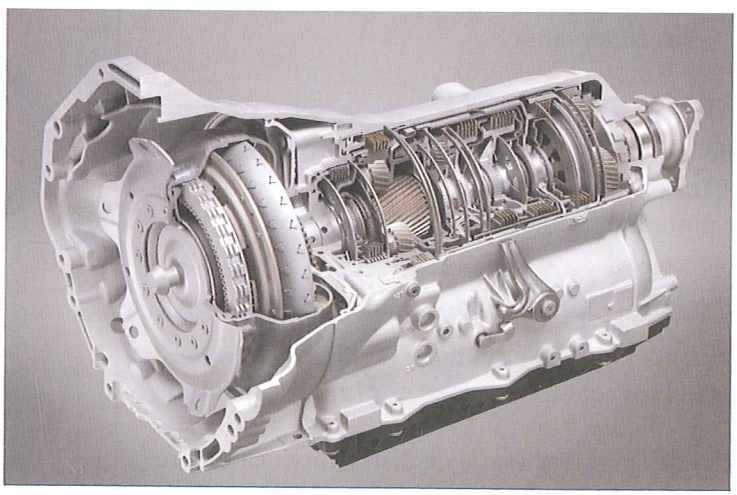
4·· Dada la siguiente figura de un tren epicicloidal sencillo y un tren epicicloidal doble Ravigneaux, resuelve las siguientes cuestiones:

a) Identifica los elementos que componen los trenes.
b) Identifica los elementos de mando del cambio.
c) Explica qué elementos unen entre sí los embragues.
d) Explica a qué elementos bloquean en su giro los frenos de este cambio.
e) ¿Por qué elementos de los trenes epicicloidales puede entrar el movimiento en el cambio?
f) ¿Por qué elemento sale el movimiento?
g) ¿Es este elemento el que transmite el movimiento al diferencial directamente? En caso negativo, explica qué elementos se encargan de accionar la corona del diferencial.



.: APLICACIÓN :.

1·· Realiza un estudio de las cajas automáticas presentes en tu taller, detallando las velocidades que tienen y el tipo y número de elementos de mando que poseen.



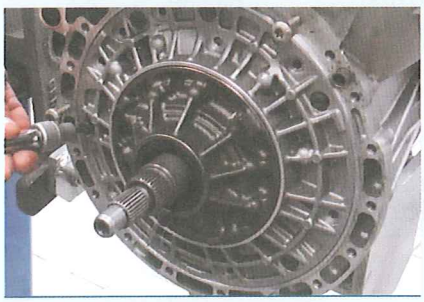
7.52. Cambio automático epicicloidal de ocho velocidades.

Caso final

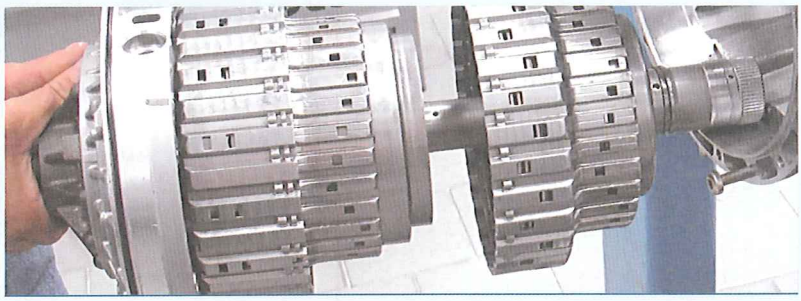
Desmontaje de una caja de cambios epicicloidal

•• Realiza el desmontaje de la caja de cambios epicicloidal empleada en los vehículos de Toyota para poder proceder a la comprobación de sus elementos mecánicos.

Solución •• Comenzamos quitando los tornillos del conjunto (figura 7.53) y extrayendo el conjunto del cambio, que presenta tres trenes epicicloidales sencillos, con sus embragues, frenos (multidisco) y ruedas libres correspondientes (figura 7.54).



7.53. Extracción de los tornillos.



7.54. Extracción del conjunto del cambio.

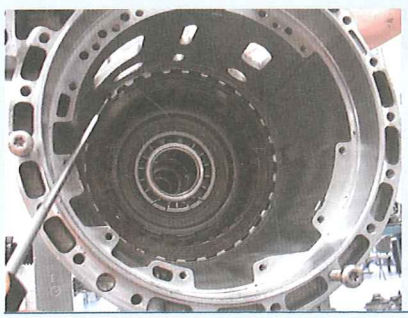
Para desmontar los trenes epicicloidales con sus elementos de mando se procede a desmontar previamente la bomba de aceite con su carcasa.

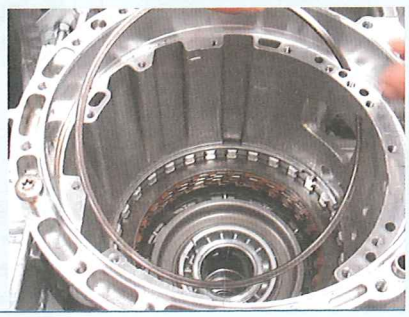
Una vez retirado el conjunto epicicloidal primero o frontal (figura 7.55) se realiza el desmontaje de los elementos de mando que actúan sobre dicho conjunto. Como hemos visto, los embragues de discos múltiples constan de dos cilindros o campanas portadiscos (exterior e interior), un cilindro hidráulico de accionamiento y un resorte de muelles o de diafragma (figura 7.56).

Para desmontar el o los embragues del conjunto es necesario quitar los anillos o *circlips* que limitan el desplazamiento de los discos sobre sus soportes (figura 7.57).

7.55. Extracción del conjunto epicicloidal frontal.

7.56. Embrague multidisco desmontado.

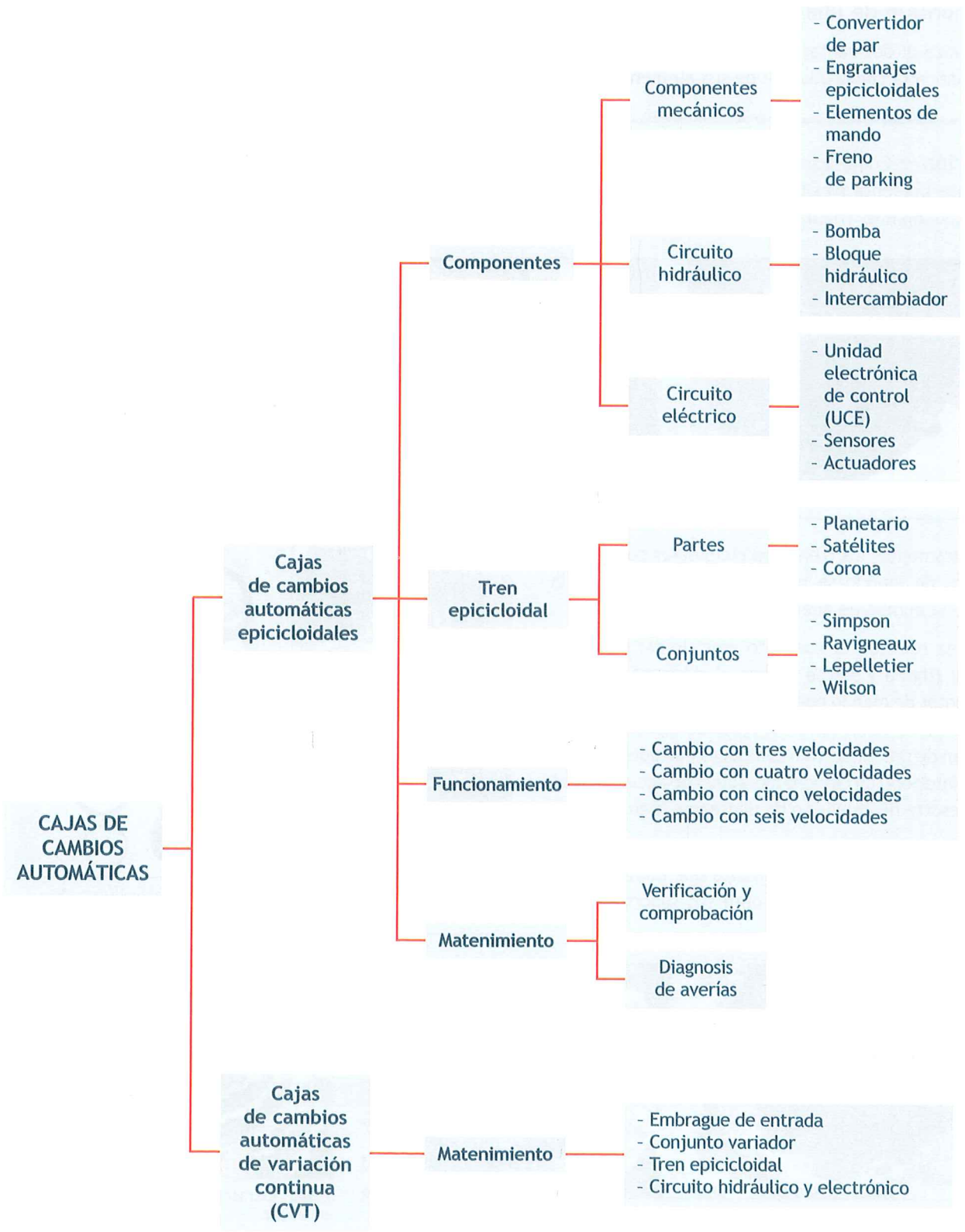




7.57. Extracción del *circlip* de los discos del embrague.

7.58. Extracción de los discos del embrague.

Ideas clave


CAJAS DE CAMBIOS AUTOMÁTICAS
Cajas de cambios automáticas epicicloidales
Componentes
Componentes mecánicos
- Convertidor de par
- Engranajes epicicloidales
- Elementos de mando
- Freno de parking
Circuito hidráulico
- Bomba
- Bloque hidráulico
- Intercambiador
Circuito eléctrico
- Unidad electrónica de control (UCE)
- Sensores
- Actuadores
Tren epicicloidal
Partes
- Planetario
- Satélites
- Corona
Conjuntos
- Simpson
- Ravigneaux
- Lepelletier
- Wilson
Funcionamiento
- Cambio con tres velocidades
- Cambio con cuatro velocidades
- Cambio con cinco velocidades
- Cambio con seis velocidades
Matenimiento
Verificación y comprobación
Diagnosis de averías
Cajas de cambios automáticas de variación continua (CVT)
Matenimiento
- Embrague de entrada
- Conjunto variador
- Tren epicicloidal
- Circuito hidráulico y electrónico

La caja de cambios automática de ocho velocidades de ZF

La nueva caja de cambios automática de ocho velocidades que ha fabricado ZF presenta una reducción del peso y un aumento de la flexibilidad y la eficiencia con respecto al cambio de seis velocidades que tantas satisfacciones le ha dado a este fabricante de transmisiones automáticas.

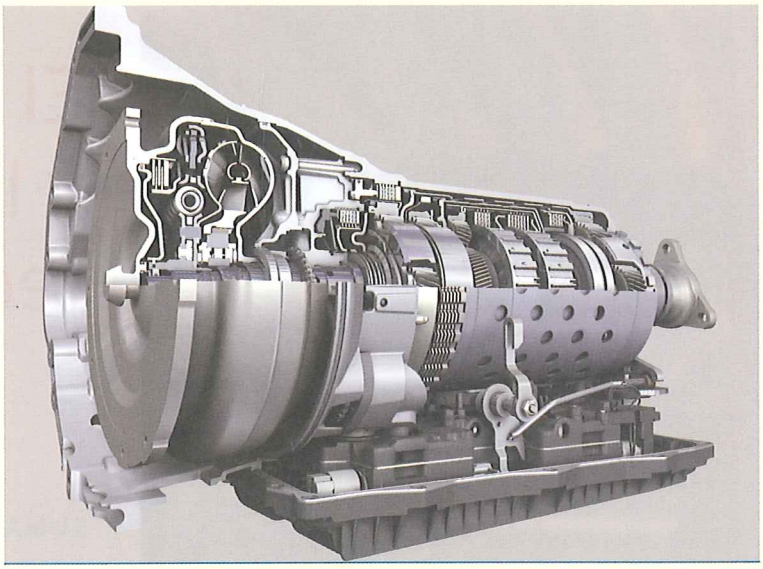
Su par de transmisión, comprendido entre los 300 y los 1 000 Nm, hace de esta caja una compañera perfecta para los vehículos de tracción trasera y total.

Aun disponiendo de dos velocidades más respecto al cambio anterior, se mantienen las mismas dimensiones y el peso se ha reducido en un 3%, pues tan solo pesa 98 kg con el aceite incluido.

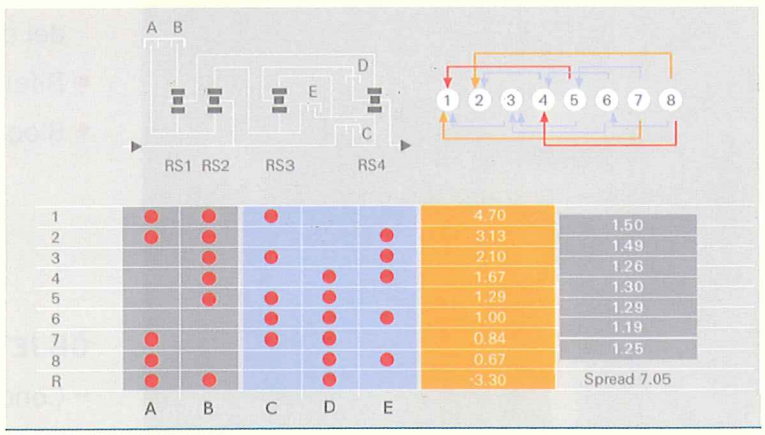
Al mismo tiempo, la relación de transmisión de 7.0 consigue que el motor trabaje siempre en el margen de revoluciones óptimo, lo que se traduce en una gran capacidad de aceleración y un consumo de combustible reducido.

Para este cambio de ocho velocidades ZF ha diseñado un nuevo tren de engranajes epicicloidales con cuatro trenes unidos entre sí por cinco ejes, de los cuales solamente se utilizan dos para cada una de las marchas seleccionadas. Para accionar estos elementos el cambio dispone de tres embragues y dos frenos.

El hecho de que para cada marcha seleccionada solamente sean accionados dos ejes supone una reducción sustancial de las pérdidas en la transmisión del movimiento.



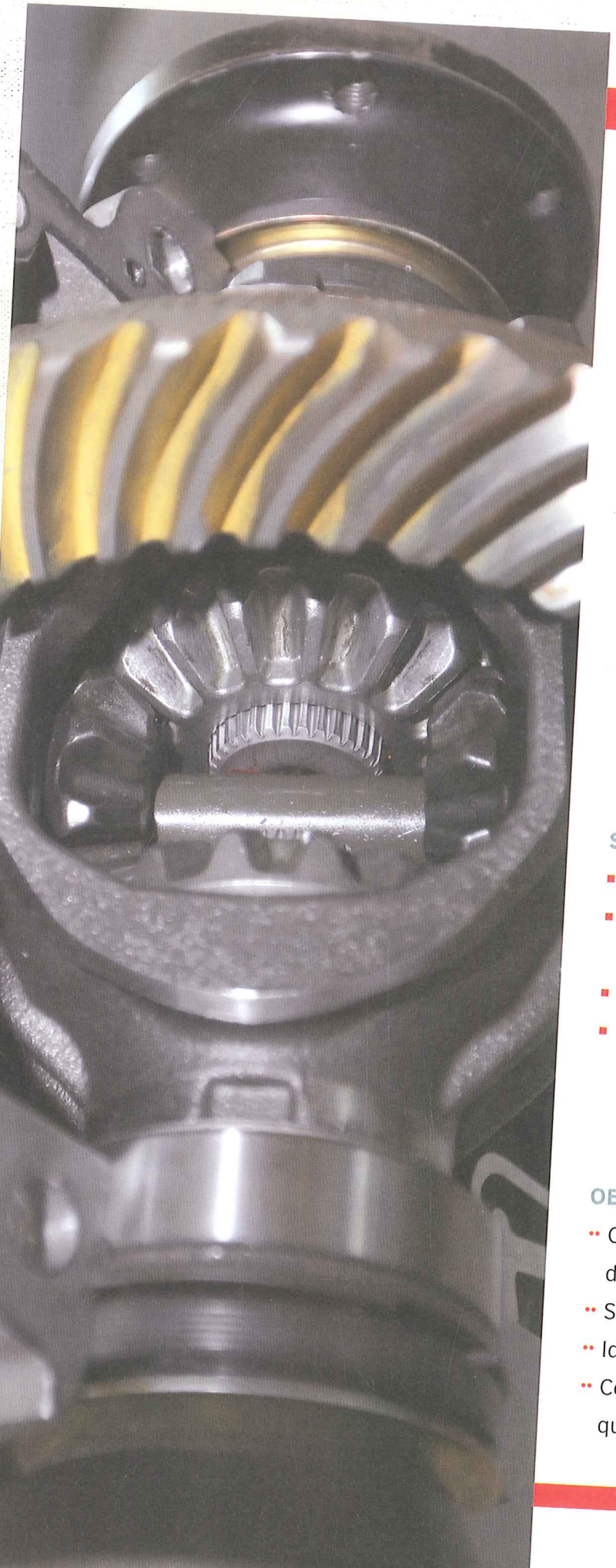
7.59. Cambio de ocho velocidades ZF.



7.60. Esquema de funcionamiento del cambio de 8 velocidades ZF.

La construcción modular de este cambio automático además posee otras innovaciones y puede servir como elemento básico para un amplio campo de desarrollos posteriores, como la integración de transmisión híbrida, el cigüeñal como motor de arranque y generador, etc.

Fuente: www.zf.com



unidad 8

El diferencial y los grupos reductores

SUMARIO

- Grupos de reducción final cilíndrico y cónico
- Misión, funcionamiento y componentes del diferencial
- Diferenciales de deslizamiento limitado
- Bloqueo del diferencial

OBJETIVOS

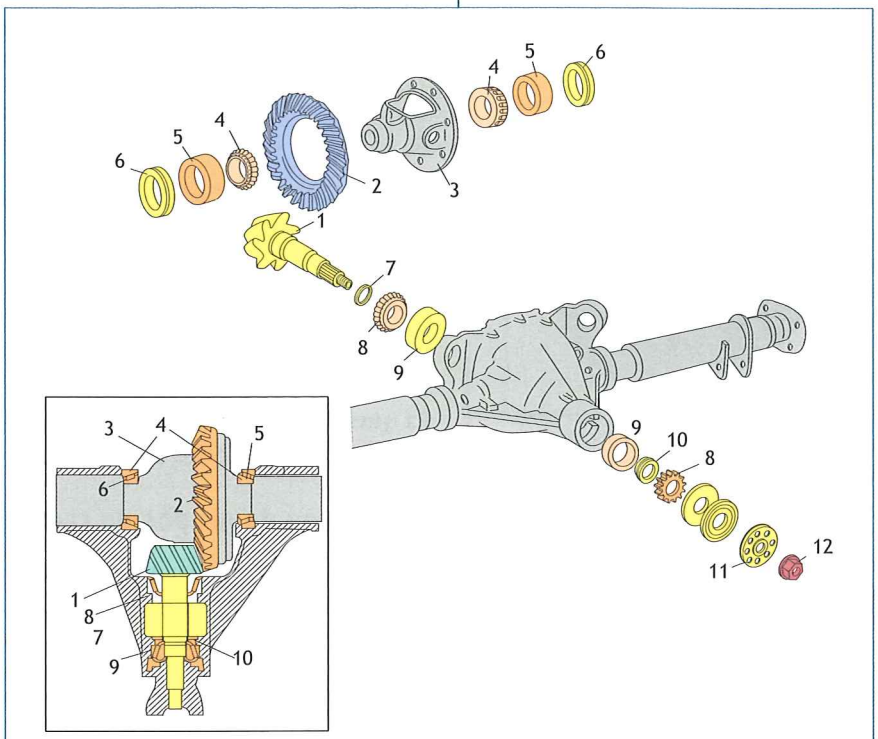
- Conocer la necesidad del grupo de reducción final.
- Saber cuál es la función del diferencial.
- Identificar los componentes del diferencial.
- Conocer los distintos tipos de diferenciales que se utilizan.

1 >> Grupo de reducción final

El grupo de reducción final se encarga de transmitir el movimiento desde el eje de salida del cambio de velocidades hasta el diferencial.

En esta transmisión de movimiento se produce una desmultiplicación del giro y una multiplicación del par motor. Además, dependiendo de la disposición del conjunto motor-caja de cambios en el vehículo, también se produce un giro de 90° del eje de transmisión del movimiento a los ejes de las ruedas motrices del vehículo.

El grupo de reducción se compone, básicamente, de dos engranajes: el piñón y la corona. Estos elementos van colocados en una carcasa externa mediante rodamientos y arandelas posicionadoras.



8.1. Partes del grupo de reducción final.

1.1 > Piñón de ataque

El piñón del grupo de reducción final, también llamado piñón de ataque, es el engranaje que transmite el movimiento desde la caja de cambios a la corona.

Si el grupo de reducción está situado en el exterior de la caja de cambios, el piñón tiene un eje propio y, si está dentro, va colocado en el extremo del eje de salida del movimiento del cambio de velocidades.

Este piñón va posicionado en la carcasa por medio de arandelas distanciadoras y está soportado por rodamientos, generalmente de tipo cónico.

Para conseguir un contacto correcto entre sus dientes y los dientes de la corona, el piñón se puede desplazar axialmente respecto de la carcasa gracias a que en su base posee distintos anillos espaciadores. De esta forma es posible obtener un mayor o menor ataque (contacto) entre los dientes del piñón y los de la corona, lo que proporciona una transmisión sin ruidos y sin excesivos desgastes.

Como el eje del piñón está soportado por rodamientos con pistas exteriores postizas, se requiere una regulación de la precarga de dichos rodamientos para conseguir el par de giro determinado por el fabricante del grupo de reducción. Esta regulación de precarga se suele realizar utilizando casquillos espaciadores de distinta longitud o casquillos deformables.

8.2. Piñón de ataque de un conjunto de reducción final.

8.3. Corona de un conjunto reductor final.

1.2 > Corona

La corona del grupo de reducción final es la rueda dentada que engrana con el piñón y transmite el movimiento a la caja del diferencial, a la que va atornillada.

Para poder girar dentro de la carcasa del grupo de reducción o de la caja de cambios, lleva rodamientos en sus dos extremos.

La posición de la corona debe ajustarse correctamente para conseguir un buen contacto entre los dientes de ambos engranajes y que no se produzcan ruidos o desgastes excesivos en la transmisión del movimiento. También es necesaria la regulación de la precarga de los rodamientos sobre los cuales gira.

El conjunto piñón-corona de cada grupo de reducción viene emparejado, ya que en el proceso de fabricación se ajustan uno a otro, con lo cual si se sustituye uno de ellos también debe cambiarse el otro.

1.3 > Tipos de grupos de reducción final

En función de la posición que ocupe el conjunto formado por el motor y la caja de cambios, existen dos tipos básicos de grupos de reducción final: los cilíndricos y los cónicos.

Grupo de reducción final cilíndrico

Los grupos de reducción final cilíndricos se utilizan cuando el conjunto motor-caja de cambios va colocado transversalmente respecto al eje longitudinal del vehículo. De esta forma, el eje del piñón de ataque y los ejes de salida del movimiento del diferencial hacia las ruedas (palieres) son paralelos.

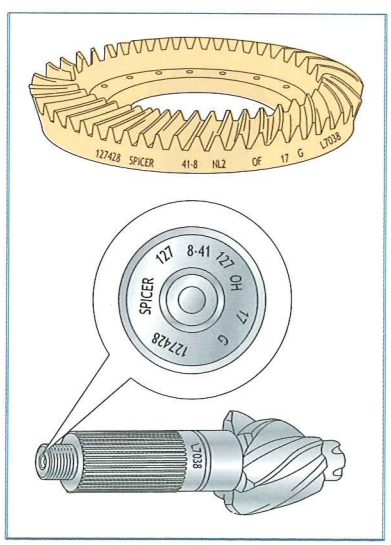
Por tanto, el grupo de reducción solamente se encarga de desmultiplicar la velocidad de giro del eje de salida de la caja de cambios y multiplicar el par de giro.

En este caso, el piñón es cilíndrico y va colocado en el extremo del eje secundario del cambio. La corona también es cilíndrica y va atornillada a la caja del diferencial.

Este tipo de grupo de reducción final va situado en el interior de la caja de cambios.

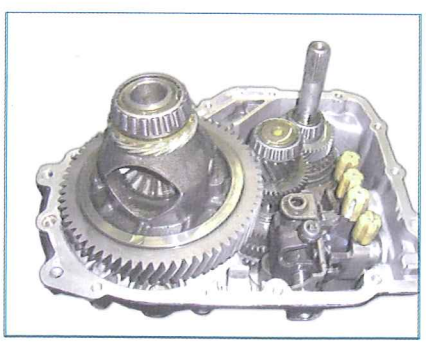
Marcas en el conjunto de reducción final

El conjunto piñón-corona suele ir marcado con distintos números y letras que indican el número de emparejamiento piñón-corona, el número de dientes que posee cada uno (relación de transmisión de ese grupo de reducción), la cota de reglaje del piñón, etc. (figura 8.4)



8.4. Indicaciones marcadas en el conjunto piñón-corona.

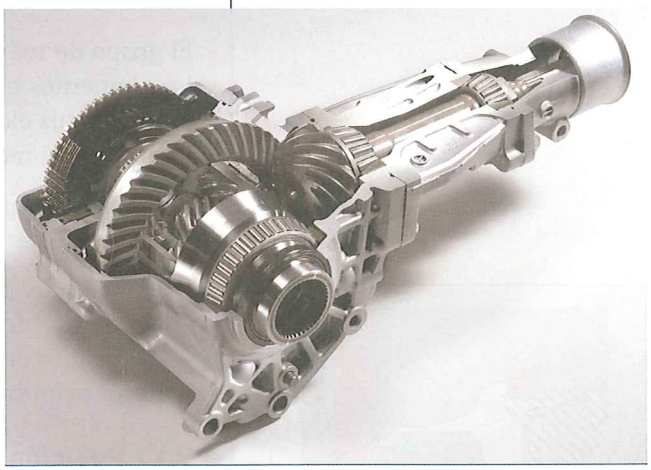
8.5. Corona y piñón de un grupo de reducción cilíndrico.



8.6. Grupo de reducción cilíndrico colocado en el interior de la caja de cambios.

Grupo de reducción final cónico

Los grupos de reducción final cónicos se utilizan cuando el conjunto motor-caja de cambios va colocado longitudinalmente respecto al vehículo. En este caso, el movimiento que sale del cambio de velocidades tiene que desmultiplicarse y girarse 90°, pues el eje conductor y los ejes de salida del movimiento del diferencial forman ese ángulo. Este es el motivo por el cual se utilizan un piñón y una corona cónicos.

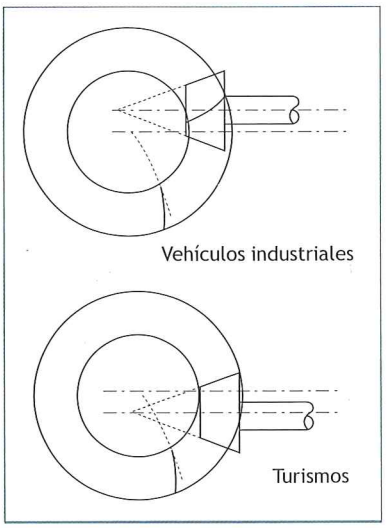


8.7. Grupo de reducción final cónico fuera de la caja de cambios.

La corona cónica puede presentar dos tipos de dentado: recto o helicoidal. El más utilizado es el helicoidal, pues permite tener más dientes en contacto cuando se realiza la transmisión del movimiento, reduciéndose así el desgaste y el ruido. Además, los dentados helicoidales que presenta la corona pueden ser de dos tipos:

- **Dentado Klingelnberg:** la altura del diente es igual en toda su longitud. Este tipo de dentado viene marcado con la letra «K» en la corona y en el piñón.
- **Dentado Gleason:** la altura del diente aumenta desde la punta hasta el talón. En este caso los dos elementos del grupo vienen marcados con la letra «H» o «F».

Cuando el eje del piñón no coincide con el eje de giro de la corona, tenemos un **grupo de reducción hipoidal**. Con este montaje se consigue aumentar el tamaño del piñón y reducir el de la corona para transmitir el mismo par de giro que los grupos de reducción normales. Al aumentar el tamaño del piñón, la superficie de los flancos de los dientes también aumenta, obteniendo dientes más resistentes y la reducción del ruido en la transmisión del movimiento. Esto ha motivado que este grupo se utilice mucho en los vehículos industriales.



8.8. Grupos de reducción hipoidal.

Este tipo de grupo de reducción puede ir tanto dentro como fuera de la caja de cambios. Si va fuera, se sitúa en el eje dotado de tracción (trasero o delantero) y, dependiendo de esta disposición, se denomina puente trasero o puente delantero.

Por otro lado, si disminuye la altura del piñón, esta configuración permite reducir la altura del túnel donde va alojado el árbol de la transmisión, logrando vehículos más bajos. Cuando el piñón se coloca por encima sucede lo contrario y esta construcción se emplea en los vehículos industriales.

1.4 > Relación de transmisión de los grupos de reducción final

La relación de transmisión (i) entre el piñón y la corona depende del número de dientes del piñón (Z_1) y de la corona (Z_2) y de las revoluciones por minuto del piñón (N_1) y de la corona (N_2). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

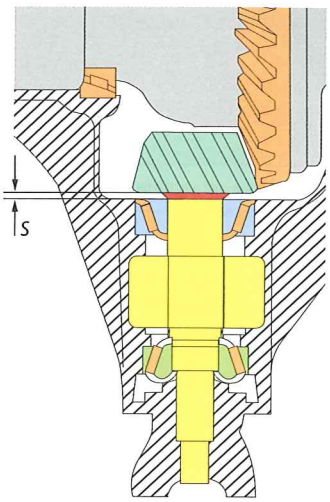
Los grupos de reducción final suelen tener una relación de transmisión que varía desde 4/1 a 7/1, según el tipo de vehículo al que estén destinados.

2 >> Reglajes del grupo de reducción final

El grupo de reducción final puede presentar anomalías en cualquiera de los elementos que lo componen. Una vez desmontado el conjunto, comprobados sus elementos y reparados o sustituidos los elementos dañados, se procede al montaje y reglaje correcto del conjunto.

Para que el conjunto funcione correctamente, es necesario realizar los siguientes ajustes:

- Posición del piñón respecto a la corona.
- Par de giro del piñón.
- Par de giro de la corona.
- Holgura entre los dientes del conjunto piñón-corona.



8.9. Regulación de la profundidad o altura del piñón en la carcasa del grupo.

2.1 > Posición del piñón

Con este reglaje se pretende posicionar correctamente el piñón en la carcasa para producir un engranado (contacto entre dientes) piñón-corona óptimo.

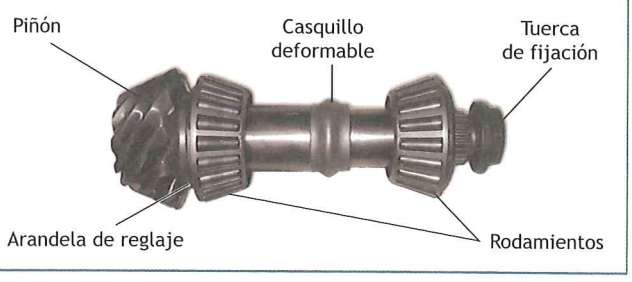
Para realizar este reglaje se mide la distancia entre la cara del piñón y el eje de rotación de la corona, lo que se denomina altura o profundidad del piñón, dependiendo del lugar desde el cual toma la referencia el fabricante del grupo. Esta distancia se puede variar colocando arandelas de distintos espesores en la parte interna del piñón (figura 8.9).

Para regular correctamente la profundidad del piñón se debe tener en cuenta la numeración marcada en su cara superior. Con este dato y la medida de profundidad realizada sobre el grupo, podrá calcularse correctamente el espesor de las arandelas de regulación.

2.2 > Par de giro del piñón

Como hemos visto, el eje del piñón de ataque está apoyado en rodamientos cónicos, cuya pista exterior es postiza y de distinto material que la carcasa del grupo.

Como en este tipo de rodamientos el par de giro varía dependiendo del nivel de contacto de los conos del rodamiento con su pista exterior, se debe regular correctamente su reglaje axial introduciendo más o menos el rodamiento en su pista exterior, para que el par de giro del piñón sea el indicado por el fabricante.



8.10. Piñón de ataque con sus elementos de montaje, arandelas de reglaje y casquillo deformable.

Para realizar esta operación es necesario montar, en el eje del piñón, los rodamientos con los espaciadores correspondientes y, en la carcasa, las arandelas de ajuste.

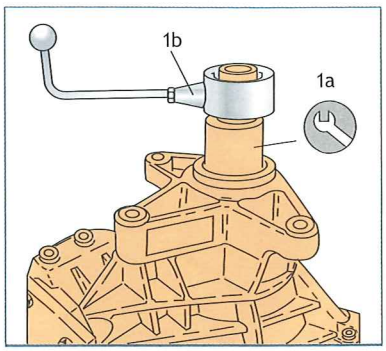
Dependiendo del montaje del piñón en la carcasa, la precarga de los rodamientos se realizará con arandelas situadas entre la carcasa y la pista exterior, con casquillos separadores de diferente longitud, con separadores deformables, etc.

Una vez montado en la carcasa el piñón con su arandela de posición y su nuevo rodamiento anterior, se coloca

el casquillo deformable, se introduce el rodamiento posterior y se coloca la brida de arrastre del piñón.

Apretando la tuerca de fijación de la brida al piñón se consigue deformar más o menos el casquillo, variando así su par de giro. Este par de giro o de rodadura se mide con un dinamómetro (figura 8.11).

Si el par de giro no es el indicado en el manual del fabricante, deben seleccionarse arandelas de distinto grosor u otro casquillo separador.



8.11. Medición del par de giro del piñón con un dinamómetro.

2.3 > Par de giro de la corona

El conjunto corona-carcasa del diferencial va soportado por dos rodamientos situados en sus extremos en los que también se ha de ajustar la precarga para conseguir el par de rodadura necesario en la corona. Este ajuste se realiza en los dos lados simultáneamente y, dependiendo del tipo de grupo reductor, se utilizarán arandelas de distinto grosor o tapas laterales de los rodamientos enroscables (figura 8.12).

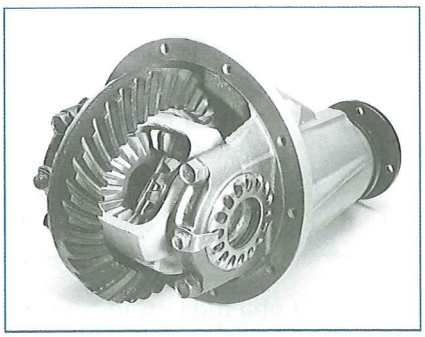
El ajuste de la precarga de los rodamientos influye en el juego entre los dientes del piñón y la corona. Por tanto, para separar o juntar el piñón a la corona, los espaciadores que se retiren de un extremo habrán de colocarse en el opuesto.

2.4 > Holgura entre los dientes del conjunto piñón-corona

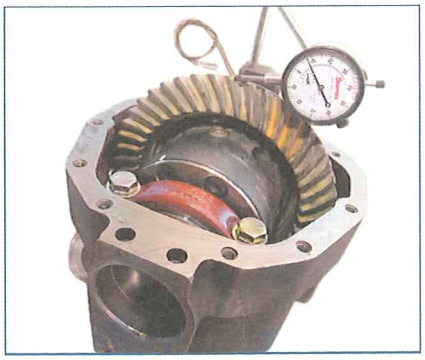
Para realizar un correcto engranaje entre la corona y el piñón, tiene que existir entre sus dientes un juego de montaje apropiado, ya que, si el juego es pequeño, se producirá un gran desgaste cuando se dilaten los engranajes en su funcionamiento normal debido a la falta de lubricación y, si el juego es grande, pueden dañarse los dentados y aumentar el ruido.

La holgura entre los dientes del juego piñón-corona se mide con un reloj comparador apoyado perpendicularmente en un diente de la corona. A continuación se inmoviliza el piñón y se hace girar a la corona (figura 8.13). Los valores correctos de esta holgura se encuentran en el manual del fabricante (habitualmente están entre 0,05 y 0,20 mm).

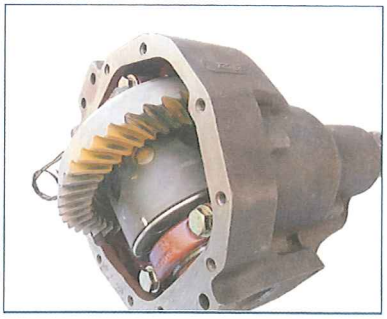
Este juego entre los dientes del piñón y los de la corona puede regularse, como ya hemos visto, mediante arandelas espaciadoras o soportes de rodamientos regulables.



8.12. Grupo cónico con regulación de los rodamientos de la corona mediante tapas laterales enroscables.



8.13. Medida de la holgura entre los dientes del piñón y los de la corona.



8.14. Huellas de contacto en los dientes de la corona.

Análisis de la huella de contacto

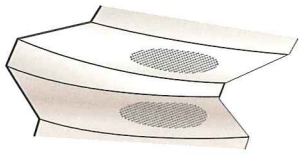
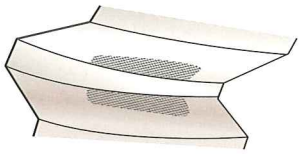
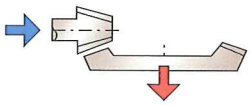
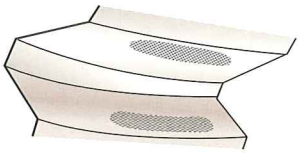
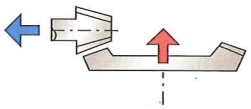
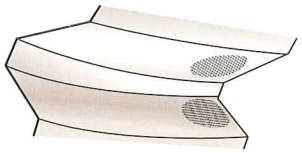
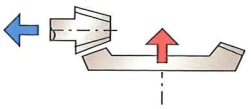
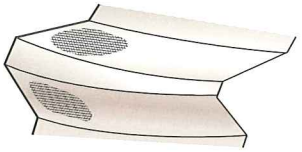
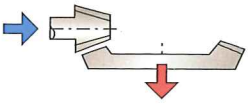
Una vez comprobada la holgura, se realiza el análisis de la huella dejada por el contacto entre los dientes del piñón y los de la corona. La huella nos indica si la posición del piñón en la carcasa es correcta y si el juego entre la corona y el piñón está bien ajustado.

El proceso se realiza de la siguiente forma:

- Se aplica una capa de tinta china u otra equivalente en los dientes de la corona.
- Se hace girar a la corona sobre el piñón una vuelta en cada sentido.

Se analizan entonces las marcas de los dientes de la corona dejadas en los flancos, el lado de tiro y el lado de retorno.

Tipos de huellas de contacto

Huella de contacto	Descripción	Consecuencias	Ajuste necesario
	Contacto correcto entre dientes.		
	Contacto de la cresta. El juego entre dientes es demasiado grande.	Puede causar ruidos y astillamiento en la cresta de los dientes.	 Aumentar el grosor de la arandela de ajuste del piñón para acercarlo al centro de giro de la corona.
	Contacto del flanco. El juego entre dientes es demasiado pequeño.	Puede causar ruidos y desgaste en las superficies.	 Reducir el grosor de la arandela de ajuste del piñón para alejarlo del centro de giro de la corona.
	Contacto de la cresta. El área de contacto es muy pequeña.	Puede causar astillamiento en los extremos de las crestas.	 Ajustar el contacto de los flancos de los dientes.
	Contacto del talón. El área de contacto es muy pequeña.	Puede causar astillamiento en los extremos de los talones	 Ajustar el contacto de las caras de los dientes.

Si después de realizar todos los ajustes la huella obtenida en los dientes no es la correcta, quiere decir que el desgaste de los dientes de la corona y el piñón ha sobrepasado los límites permitidos y, por tanto, debe reemplazarse el conjunto.

3 >> Diferencial

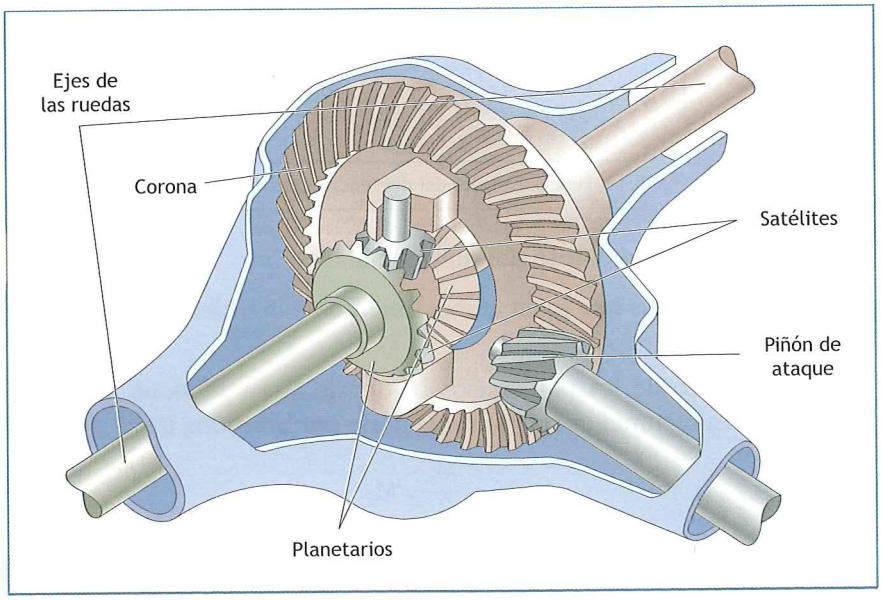
El diferencial es el elemento que recibe el movimiento del grupo de reducción final y lo transmite a los ejes de transmisión de las ruedas (palieres).

Sus funciones principales son:

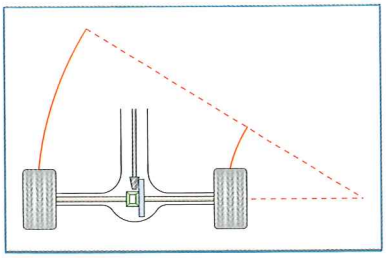
- Repartir de manera compensada el par de giro a las dos ruedas motrices para evitar bandazos o empujes desiguales.
- Permitir que las dos ruedas motrices se desplacen a distinta velocidad al tomar una curva, pues las trayectorias que recorre cada una en esta situación son distintas: la rueda exterior recorre una trayectoria mayor que la interior (figuras 8.15).

Para realizar estas funciones el diferencial está formado por los siguientes elementos:

- **Caja del diferencial:** va atornillada a la corona del grupo de reducción final. Es el elemento encargado de soportar los ejes de los satélites.
- **Dos planetarios:** están situados dentro de la caja del diferencial, pero con un montaje loco respecto a ella. Se hallan unidos de forma solidaria a los semiejes o palieres de accionamiento de las ruedas. Tienen dientes rectos y su número suele oscilar entre 15 y 30.
- **Dos o cuatro satélites con sus ejes correspondientes:** van colocados sobre unos ejes en la caja del diferencial y engranan directamente con los dos planetarios, por lo que disponen de dos movimientos de giro. Se emplean cuatro cuando el par a transmitir es grande, logrando generar así un menor desgaste por satélite. Suelen tener entre 8 y 16 dientes.
- **Rodamientos:** al ser el conjunto un eje de giro, su elemento soporte va apoyado en unos rodamientos cónicos con pistas exteriores postizas, lo que supone que siempre sea necesario su reglaje axial (precarga del rodamiento). Estas pistas van ubicadas sobre la carcasa del cambio o del puente trasero.



8.17. Esquema de un diferencial.



8.15. Recorrido que realizan las ruedas en una curva.

8.16. Diferencial.

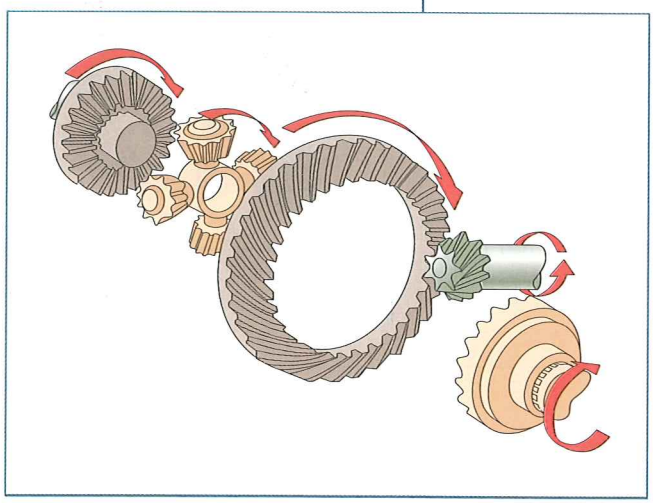
3.1 > Funcionamiento del diferencial

Funcionamiento en recta

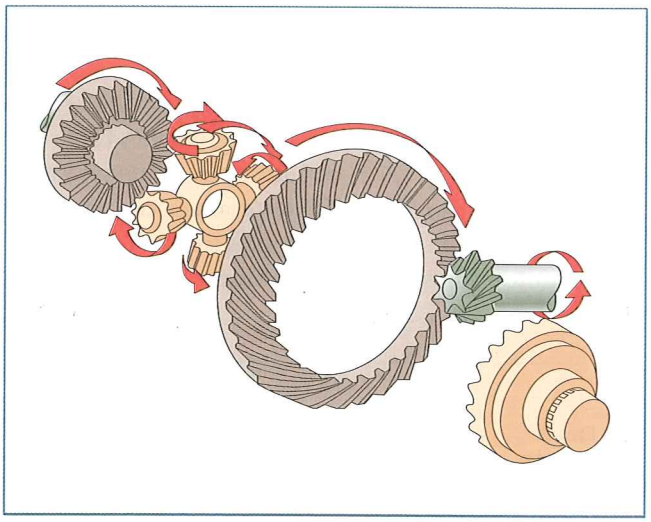
Cuando las dos ruedas motrices circulan en línea recta con igual adherencia en los dos lados, en ambas se presenta la misma fuerza de oposición a su rodadura. En esta situación, los satélites del diferencial se acuñan entre los planetarios, formándose un conjunto que gira como una unidad. De este modo el giro recibido del conjunto reductor se transmite por igual a las dos ruedas y, por tanto, dichas ruedas giran a la misma velocidad.

Funcionamiento en curva

Al tomar una curva, las fuerzas que se oponen a la rodadura difieren de una rueda a otra, pues son mayores las ejercidas sobre la rueda que realiza el trayecto interior de la curva. Esto supone que las fuerzas no sean iguales en los dos planetarios del diferencial y, por tanto, que los satélites no se acuñen entre sí, sino que giren también sobre sus ejes desplazándose sobre el planetario más frenado. En consecuencia, desplazan más al planetario que presenta menor oposición a su giro, aumentando su velocidad, lo que quiere decir que la velocidad que pierde un planetario la gana el otro, y esto permite girar en las curvas sin que ninguna de las dos ruedas motrices derrape.



8.18. Funcionamiento del diferencial en línea recta con igual adherencia en las dos ruedas.



8.19. Funcionamiento del diferencial en curva.

Bloqueo del diferencial

De la segunda ecuación del movimiento del diferencial se puede deducir lo que ocurre cuando se procede al bloqueo del diferencial. En este caso, se tendría que una de las ruedas motrices gira a la misma velocidad que la corona (N_c), por lo tanto:

$$N_d = N_c \Rightarrow N_i + N_d = 2N_d \Rightarrow N_i = N_d$$

De lo que se deduce que las dos ruedas motrices giran a la misma velocidad.

Ecuaciones del movimiento del diferencial

Los principios físicos que rigen el movimiento de los diferenciales son los siguientes:

- El par de giro de los planetarios izquierdo (M_i) y derecho (M_d) es el mismo, y es la mitad del par suministrado por la corona (M_c):

$$M_i = \frac{M_c}{2} = M_d$$

- La suma de las revoluciones a las que giran los planetarios izquierdo (N_i) y derecho (N_d) es el doble de las revoluciones de la corona (N_c):

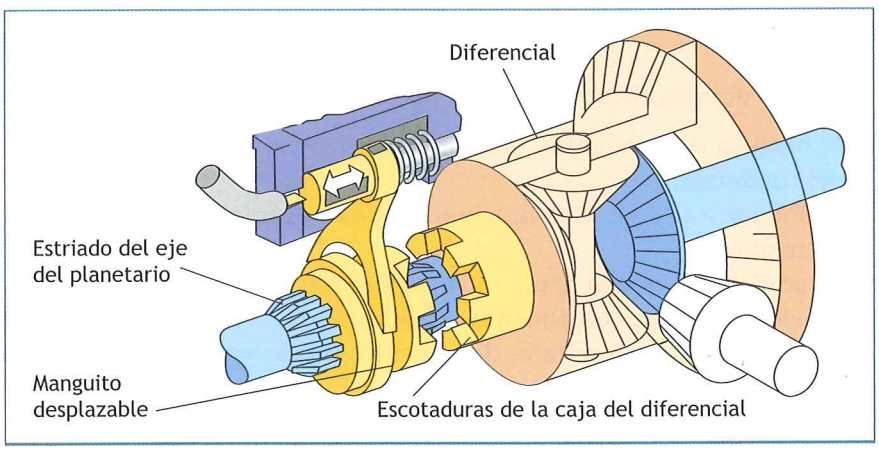
$$N_i + N_d = 2 \cdot N_c$$

3.2 > Bloqueo del diferencial

El diferencial presenta un inconveniente: cuando una rueda se desliza por un terreno con escasa adherencia (hielo, nieve, agua, etc.) presenta muy poca resistencia a su rodadura, lo que provoca que todo el giro de la transmisión se fugue por ella y, de este modo, que el vehículo se quede bloqueado.

Para evitar este problema se utiliza el bloqueo del diferencial, que consiste en hacer solidario un planetario a la caja del diferencial, consiguiendo así que ese planetario gire a las mismas revoluciones que la corona y que el otro planetario, en consecuencia, gire también a la misma velocidad. Así, el par de giro que recibe cada rueda es el 100% del transmitido por la corona del diferencial y la rueda que tiene tracción puede impulsar al vehículo. Veamos cómo se bloquea el diferencial.

El exterior del eje del planetario está estriado y sobre él va colocado un manguito desplazable en sentido longitudinal con unas escotaduras que encajan, cuando es desplazado, con las escotaduras de la caja del diferencial. El bloqueo del diferencial se produce cuando el manguito engrana con la caja del diferencial.

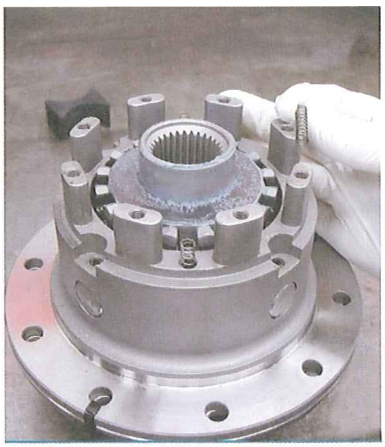


8.20. Mecanismo de bloqueo del diferencial.

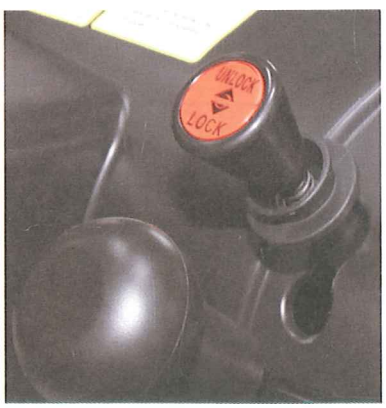
El bloqueo del diferencial se acciona mediante un interruptor que se encuentra en el cuadro de mandos del conductor. Cuando este se pulsa, la palanca de accionamiento del collarín de engranaje es accionada por émbolos neumáticos, émbolos hidráulicos, motores eléctricos o solenoides eléctricos.

El bloqueo del diferencial es necesario si el vehículo se desplaza por terrenos con baja adherencia (arena, nieve, terrenos muy húmedos...), por eso se utiliza en vehículos todoterreno, camiones de obra, maquinaria de obras públicas, etc.

El bloqueo del diferencial no debe conectarse al circular por terrenos con gran adherencia o por curvas, pues podrían producirse desgastes excesivos en los neumáticos y daños en los engranajes que conforman el mecanismo diferencial debido a que las ruedas, al eliminarse el efecto diferencial, giran siempre a la misma velocidad.



8.21. Sistema de bloqueo del diferencial.



8.22. Interruptor de bloqueo del diferencial.

4 >> Diferenciales de deslizamiento limitado (LSD)

LSD

La sigla LSD que denomina a los diferenciales de deslizamiento limitado proviene de la expresión inglesa *limited slip differentials*.

Como hemos visto anteriormente, en un diferencial convencional el par motor suministrado a las ruedas viene limitado por el par que es capaz de transmitir la rueda que presenta menor adherencia sobre el terreno, es decir, si una rueda se encuentra sobre hielo y la otra sobre una superficie con gran adherencia, el par se transmite íntegramente a la rueda que se encuentra sobre el hielo provocando que el vehículo no se desplace.

Los diferenciales de deslizamiento limitado (LSD) son capaces de evitar automáticamente el patinado de una rueda. Para ello transmiten una determinada cantidad del par de giro a la rueda que presenta mejor adherencia con el terreno, logrando así que no se escape todo el par por la rueda que patina. Funcionan como un diferencial convencional cuando las ruedas giran sobre una superficie no deslizante, pero son capaces de bloquearse automáticamente si detectan un deslizamiento en alguna de las dos ruedas del eje.

Los diferenciales de deslizamiento limitado se utilizan en vehículos de carreras o de carácter deportivo, dado que su gran capacidad de aceleración hace que sus neumáticos puedan presentar pérdidas de adherencia, y en los vehículos que suelen desplazarse por terrenos con problemas de adherencia, como vehículos todoterreno 4x4, tractores o vehículos de obras públicas.

El empleo de estos diferenciales presenta una serie de ventajas importantes:

- El bloqueo es automático, así que no requiere acción alguna por parte del conductor.
- Al limitarse el deslizamiento de una rueda, disminuye el desgaste del neumático.
- La acción de bloqueo tiene un valor límite para evitar sobrecargas en los elementos que componen la transmisión.
- El valor de bloqueo de estos diferenciales puede variarse dependiendo del vehículo donde vayan montados.

La capacidad o porcentaje de bloqueo (*PB*) de estos diferenciales viene determinada por la siguiente ecuación:

$$PB = \frac{M_i - M_d}{M_d + M_d} \cdot 100\%$$

Donde M_i y M_d son, respectivamente, el par de giro (en Nm) de los planetarios izquierdo y derecho del diferencial.

Todos los distintos tipos de diferenciales se encuentran entre el diferencial libre y el bloqueado al 100%. A lo largo de los años han aparecido un buen número de diferenciales de deslizamiento limitado que buscaban un compromiso entre giro a baja velocidad, la baja resistencia y el buen comportamiento cuando existen grandes diferencias de velocidad o par entre las ruedas. El principal problema de estos modelos es el aumento de su complejidad constructiva.

Existe una gran cantidad de diferenciales de deslizamiento limitado, por lo que resulta complejo realizar una clasificación que ordene todos estos dispositivos. A continuación se describen los más habituales.

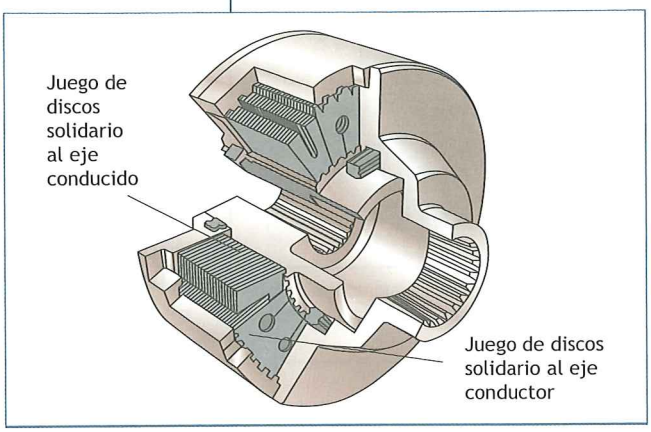
8.23. Diferencial de deslizamiento limitado.

4.1 > Acoplamiento viscoso

Los sistemas de acoplamiento viscoso producen la unión del giro de dos ejes concéntricos por medio de un fluido que presenta gran viscosidad.

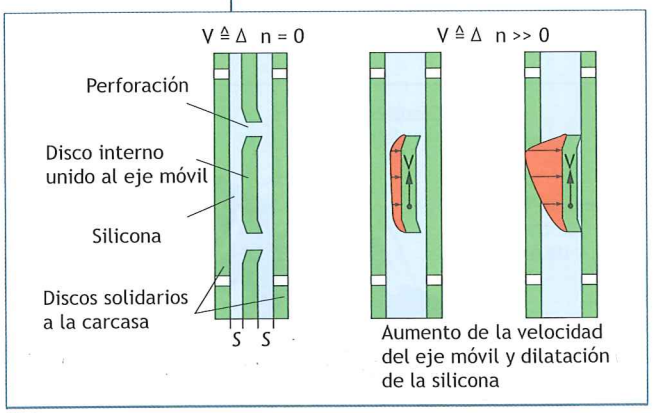
Los componentes del diferencial de acoplamiento viscoso son (figura 8.24):

- Una carcasa cilíndrica con cortes longitudinales en su interior que transmite el movimiento por un buje estriado.
- Un eje dotado de ranuras exteriores en toda su longitud y estriado interiormente para transmitir movimiento.
- Dos paquetes de discos diferentes colocados alternativamente y separados entre sí 0,25 mm:
  - Los discos de un paquete son solidarios a la carcasa, disponen de estriado exterior y van perforados.
  - Los discos del otro paquete son solidarios al eje interno, tienen estriado su perímetro interior y disponen de cortes radiales.
- Una mezcla de silicona con alta viscosidad y burbujas de aire que rellena una parte del alojamiento.



8.24. Sistema de acoplamiento viscoso.

Cuando un paquete de discos gira respecto al otro paquete o, lo que es lo mismo, cuando el eje interno y la carcasa giran a distinta velocidad, se produce el cizallado de la silicona, lo que provoca su calentamiento y dilatación. Esta dilatación desplaza los discos móviles y la silicona se acuña entre los discos contiguos que componen los dos paquetes, produciendo el acoplamiento entre los dos ejes (figura 8.25).



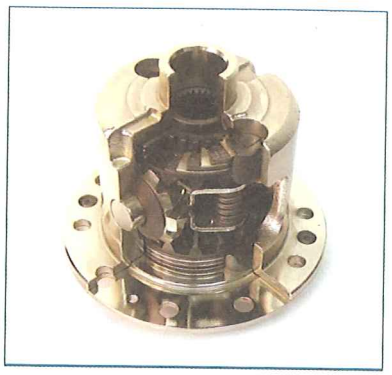
8.25. Proceso de acoplamiento entre los discos que componen el acoplamiento viscoso.

El nivel de acoplamiento y la transmisión de par entre los dos ejes depende de la viscosidad del fluido, del dibujo de los discos, de su separación y de la velocidad relativa entre ambos paquetes, que aumenta el calentamiento del fluido y, por tanto, su dilatación.

En los diferenciales que poseen este tipo de acoplamientos, el eje interior va unido a un planetario y la carcasa exterior del acoplamiento viscoso es solidaria a la carcasa del diferencial. Cuando la diferencia de giro entre la carcasa del diferencial y el planetario alcanza un determinado valor (llamado tarado del acoplamiento), se produce un acoplamiento progresivo entre ambos que origina el bloqueo del diferencial al hacerse solidario el planetario a la carcasa del diferencial.

El acoplamiento viscoso no suele utilizarse como elemento de bloqueo en los ejes motrices, pero sí se emplea en los sistemas de tracción 4WD como elemento de transmisión o como elemento de bloqueo del diferencial central.

8.26. Diferencial con sistema de acoplamiento viscoso.



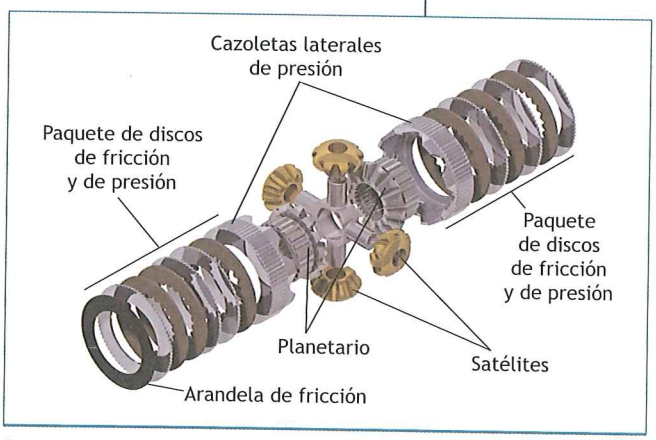
8.27. Diferencial de deslizamiento limitado de discos de fricción accionados mecánicamente

4.2 > Acoplamiento de discos de fricción accionados mecánicamente

Este tipo de diferencial de deslizamiento limitado es uno de los más utilizados en vehículos de elevada potencia e industriales de alto par motor debido a su rapidez de respuesta. Existen diferentes modelos de este acoplamiento, pero todos ellos poseen ejes portasatélites que se pueden desplazar lateralmente en la carcasa, para lo cual van colocados en unas escotaduras entre dos platos de presión solidarios a la carcasa del diferencial que pueden desplazarse lateralmente dentro de ella.

Entre cada plato de presión lateral y el extremo de la carcasa del diferencial se encuentran dos paquetes de discos: unos de presión, con ranuras exteriores y solidarios a la carcasa, y otros de fricción, con estrías interiores y solidarios a los planetarios. Completa este mecanismo un conjunto de muelles o arandelas de presión colocado en los extremos y encargado de dar una precarga al conjunto (bloqueo inicial).

Cuando las ruedas presentan la misma adherencia, los platos de presión se encuentran en su posición de reposo y los discos están separados, manteniendo independiente el giro de la carcasa del de los planetarios. Sin embargo, si el vehículo toma una curva, los discos pueden resbalar entre sí permitiendo que las dos ruedas giren a distinta velocidad.



8.28. Componentes de un diferencial de deslizamiento limitado de discos de fricción.

Cuando una rueda empieza a deslizarse por pérdida de adherencia, los satélites tienden a girar, lo que provoca que varíe la posición de equilibrio de sus ejes, que los mantenía colocados en el fondo de las escotaduras. Este desequilibrio produce el desplazamiento de los ejes respecto a la escotadura y, enconsecuencia, el empuje del plato de presión del lado que presenta mejor adherencia. De este modo se comprime el paquete de discos y se consigue el bloqueo del diferencial.

El efecto de bloqueo producido en estos diferenciales se puede modificar variando la forma de las escotaduras (ángulo de las rampas), el número de superficies de fricción (de 2 a 6) y la precarga producida por los muelles o las arandelas de presión.

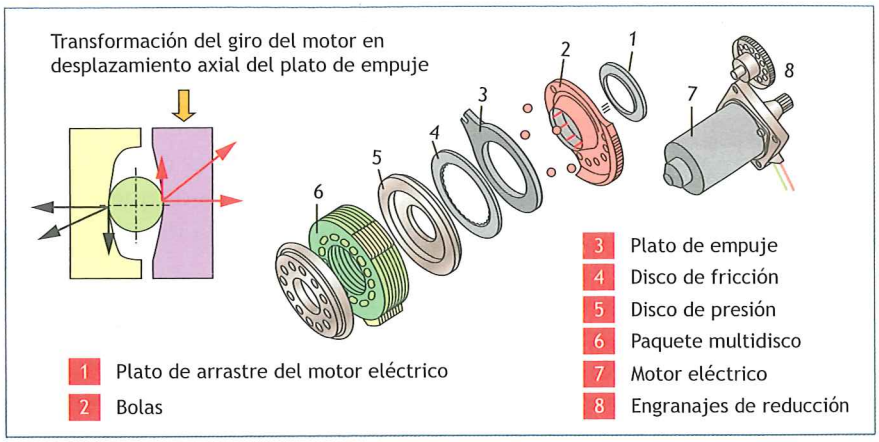
4.3 > Acoplamiento de discos de fricción accionados electrónicamente

En este caso los discos son accionados mediante un motor eléctrico del diferencial LSD.

En el sistema accionado electrónicamente, un motor se encarga de hacer girar a un sector dentado con alojamiento para bolas en una de sus caras. Estas bolas están cerradas por el otro extremo por un disco. Cuando el sector dentado gira, las bolas solidarias a él producen el desplazamiento en su eje axial del disco de presión, el cual empuja a su vez el paquete de discos, produciendo su unión en el giro y haciendo que un planetario sea solidario a la carcasa, lo que provoca el bloqueo del diferencial.

Las ventajas que presenta este sistema son muy amplias, pues es capaz de producir un porcentaje de bloqueo variable en función de las condiciones de marcha.

Una unidad electrónica de mando se encarga de recibir las distintas señales de velocidad del vehículo y de las ruedas, de la posición del acelerador, etc. y con ellas calcula el desplazamiento del motor eléctrico que se requiere para conseguir el apriete necesario en el paquete multidiscos.



8.29. Componentes del diferencial accionado mediante motor eléctrico.

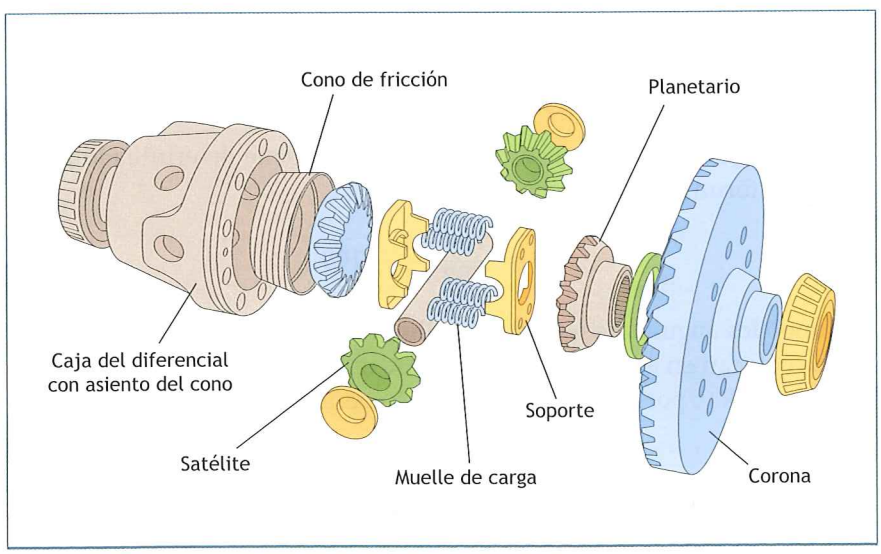
4.4 > Diferencial de conos de fricción

En este tipo de diferencial los planetarios tienen forma cónica y se apoyan en los laterales de la carcasa en unos asientos cónicos de fricción postizos.

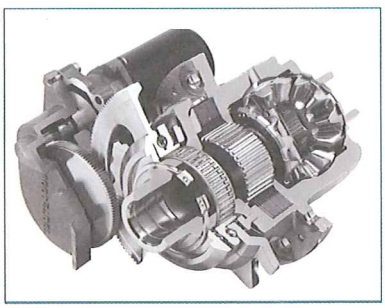
Unos muelles de precarga empujan los planetarios hacia sus asientos para que ambos elementos estén en contacto. En condiciones de adherencia normales, el planetario puede girar respecto a su asiento.

Cuando una de las ruedas tiende a deslizarse debido al bajo coeficiente de adherencia del terreno, aumenta su fuerza centrífuga y, por tanto, también la de su planetario de accionamiento correspondiente. Esta fuerza produce el desplazamiento del planetario contra su asiento cónico, originando la unión de dicho planetario con la carcasa del diferencial, es decir, bloqueando el diferencial.

Los planetarios poseen cortes radiales en su periferia para mejorar la capacidad de fricción, la evacuación del aceite de lubricación y la duración del diferencial.



8.31. Sección de un diferencial de conos de fricción.



8.30. Diferencial de discos de fricción accionado mediante motor eléctrico.

8.32. Sección de un diferencial de deslizamiento limitado por conos de fricción.

5 >> Diferenciales de deslizamiento limitado sensibles al par de tracción o torsen

Los diferenciales de deslizamiento limitado sensibles al par de tracción se caracterizan por ser capaces de evitar automáticamente el deslizamiento de una rueda antes de que empiece a deslizarse. Lo logran transfiriendo el par de tracción a la rueda con mejor adherencia.

Estos diferenciales también aparecen como diferenciales centrales en los vehículos con tracción permanente a las cuatro ruedas.

En estos diferenciales los planetarios son dos tornillos sinfín que van engranados con parejas de satélites de engranaje helicoidal.

El principio que rige su funcionamiento es que un tornillo sinfín puede hacer girar al engranaje helicoidal, pero no a la inversa, y lo hace en función del ángulo de paso del tornillo sinfín y del rozamiento en el engranaje helicoidal (figura 8.33).

Por tanto, este ángulo permite obtener diferenciales con mayor o menor capacidad de bloqueo:

- Cuanto menor sea el ángulo de paso, mayor será el valor de bloqueo, consiguiendo, con un determinado ángulo, que el funcionamiento del acoplamiento sea irreversible, es decir, que el engranaje helicoidal no pueda hacer girar al tornillo sinfín.
- Cuanto mayor sea el ángulo de paso, menor será el valor de bloqueo, llegando a suprimirse el efecto de irreversibilidad del acoplamiento, es decir, que el tornillo sinfín podrá hacer girar al engranaje helicoidal y a la inversa.

La capacidad de bloqueo de los diferenciales torsen viene determinada por la relación de desviación de par TBR *(torque bias ratio)*, que indica la relación de par que recibe la rueda que gira más lentamente respecto al par que recibe la rueda que gira más rápidamente.

Por ejemplo, que un diferencial torsen tenga un TBR de 3 ó 1:3 quiere decir que, si el eje de accionamiento del diferencial recibe un par de 2 400 Nm, se aplican 600 Nm a la rueda que tiende a deslizar y 1 800 Nm a la rueda con mejor adherencia (figura 8.34).

El porcentaje de bloqueo de estos diferenciales viene determinado por la siguiente fórmula matemática:

$$PB = \frac{\text{TBR} - 1}{\text{TBR} + 1} \cdot 100$$

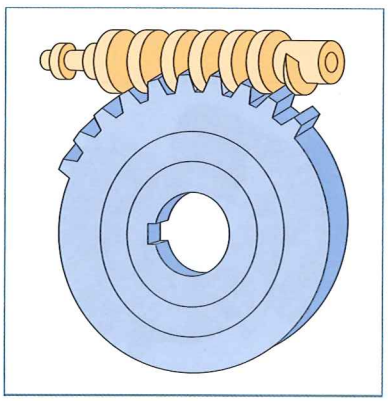
Variando los ángulos de paso del tornillo sin fin y las arandelas de fricción que se colocan en el interior de la carcasa del diferencial se consiguen los distintos TBR y, por lo tanto, los distintos coeficientes de bloqueo del diferencial.

Existen diferentes tipos de diferenciales torsen que se distinguen por la disposición interna de los planetarios y los satélites. Cada tipo es nombrado con una letra o un número: torsen tipo A (T-1), tipo B (T-2) o tipo C (T-3). Todos ellos se pueden fabricar con distintos valores TBR.

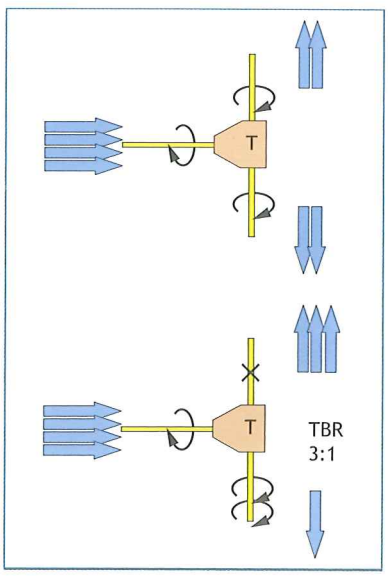
Denominación

Los diferenciales de deslizamiento limitado sensible al par de tracción pueden recibir varios nombres: Torsen, diferenciales de engranajes helicoidales, etc.

Su denominación más común es la de diferencial Torsen, un término que proviene de la expresión inglesa *torque sensing* (sensible al par de tracción).



8.33. Conjunto tornillo sinfín-engranaje helicoidal.



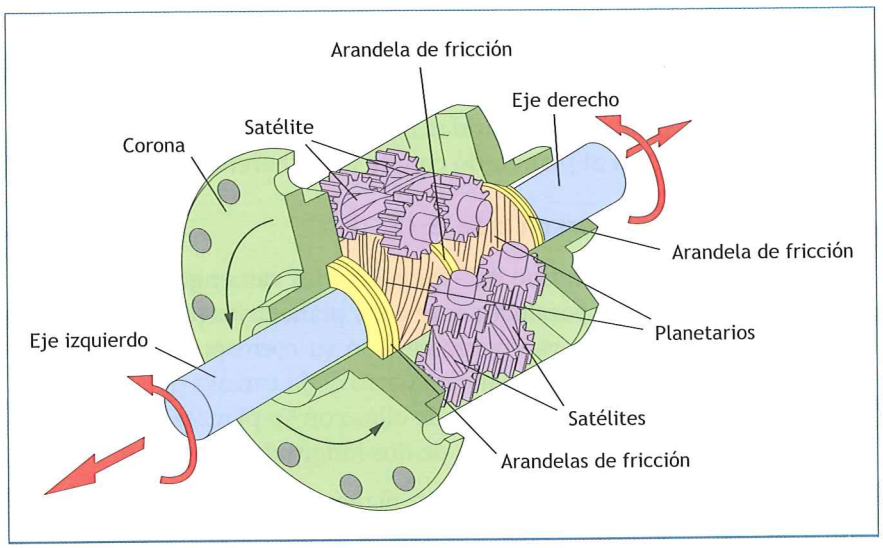
8.34. Explicación esquemática del concepto TBR.

5.1 > Diferenciales torsen tipo A (T-1)

Los diferenciales torsen tipo A (T-1) están compuestos por dos o tres parejas de satélites engranados entre sí y con los dos planetarios. Cada satélite presenta dos tipos de dentados, uno helicoidal y otro recto:

- Con el dentado helicoidal cada satélite de la pareja engrana con su planetario correspondiente.
- Con el dentado recto los dos satélites engranan entre sí.

Entre la carcasa y los extremos de los planetarios y entre los distintos planetarios hay colocadas arandelas de fricción que pueden presentar distinto espesor.



8.35. Componentes del diferencial torsen tipo A (T-1).

8.36. Diferencial torsen tipo A (T-1).

El par motor se transmite a la carcasa del diferencial y los satélites giran con ella, pues sus ejes son solidarios a la carcasa. Como los satélites no pueden hacer que los planetarios giren, se bloquean, produciendo así el arrastre de los planetarios con la carcasa del diferencial como si fueran un bloque.

De ese modo, cuando el vehículo se desplaza en línea recta, el diferencial torsen funciona como un diferencial convencional y todos sus elementos internos giran como un bloque.

Funcionamiento en curvas

Cuando se toma una curva, la rueda exterior gira a mayor velocidad que la interior y el planetario de esta rueda transmite el giro a sus satélites. Estos, al estar engranados mediante el dentado recto con los satélites del otro planetario, producirán también el aumento de su velocidad de giro.

En este caso, y a diferencia de los diferenciales convencionales, los satélites no pueden hacer girar al planetario con el que van engranados porque el engranaje entre ellos se basa en un dentado helicoidal. Por tanto, los satélites girarán sobre el planetario interior sin aumentar su giro, logrando así la diferenciación de giro al tomar las curvas.

Deslizamiento de una de las ruedas

Cuando una rueda presenta menor adherencia que la otra, el planetario tiende a girar más rápido, haciendo que giren del mismo modo sus satélites correspondientes. Estos satélites, a su vez, harán girar a los satélites del otro planetario, ya que están engranados mediante su dentado recto.

El giro de estos satélites no aumenta la velocidad del planetario lento, ya que un engranaje helicoidal no puede hacer girar a un sinfín, lo que provoca el bloqueo del giro del planetario que tiende al deslizamiento.

Al mismo tiempo que se consigue evitar el deslizamiento de la rueda, se transmite el par a la rueda con mejor adherencia. Esto tiene lugar porque, en la transmisión de giro entre las parejas de satélites, se producen unas fuerzas axiales que empujan el planetario lento (el que presenta mejor adherencia) contra la carcasa del diferencial. Esta presión producida entre el planetario, las arandelas de fricción de su lado correspondiente y la carcasa del diferencial incrementa la cantidad de par de giro transmitido desde la carcasa del diferencial al planetario con mejor adherencia.

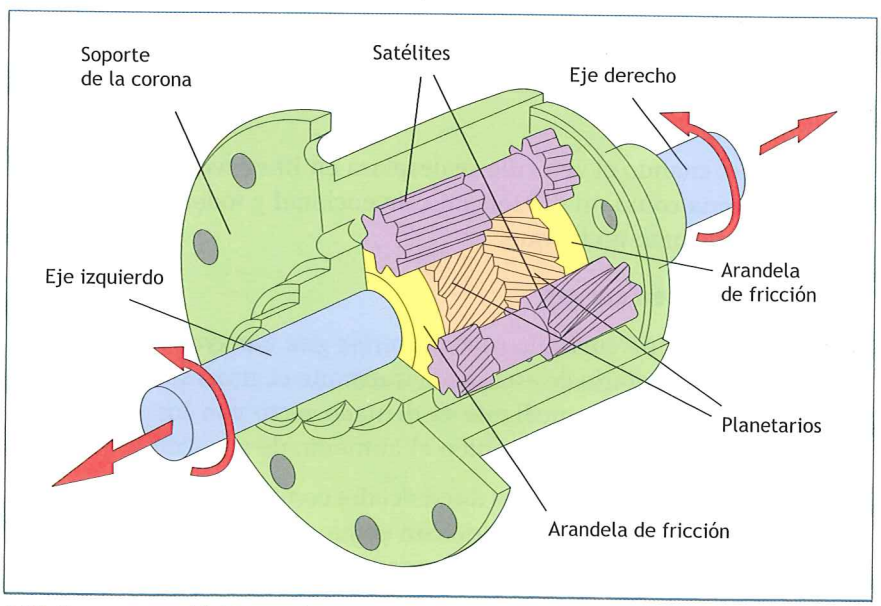
8.37. Torsen tipo B (T-2).

5.2 > Diferenciales torsen tipo B (T-2)

En los diferenciales torsen tipo B (T-2) los satélites van engranados por parejas y están dispuestos paralelamente a los planetarios (tornillos sinfín). Cada satélite de la pareja va engranado con su correspondiente tornillo sinfín y puede girar respecto a su eje dentro de la carcasa del diferencial. Al ir engranados entre sí y cada uno de ellos con su planetario correspondiente, es posible que haya satélites de dos longitudes distintas.

Entre los distintos planetarios y entre los planetarios y la carcasa se colocan arandelas de fricción como en el diferencial torsen tipo A.

Dependiendo del par que se vaya a transmitir, se emplearán diferenciales de este tipo con cuatro o cinco parejas de satélites.



8.38. Componentes del diferencial torsen tipo B (T-2).

Funcionamiento en curvas

Cuando el coeficiente de adherencia de las dos ruedas es similar y se toma una curva, las ruedas giran a diferente velocidad. Esto se consigue, en este caso, porque los satélites giran, respecto de sus ejes, en sentido contrario uno respecto del otro y sobre su planetario correspondiente.

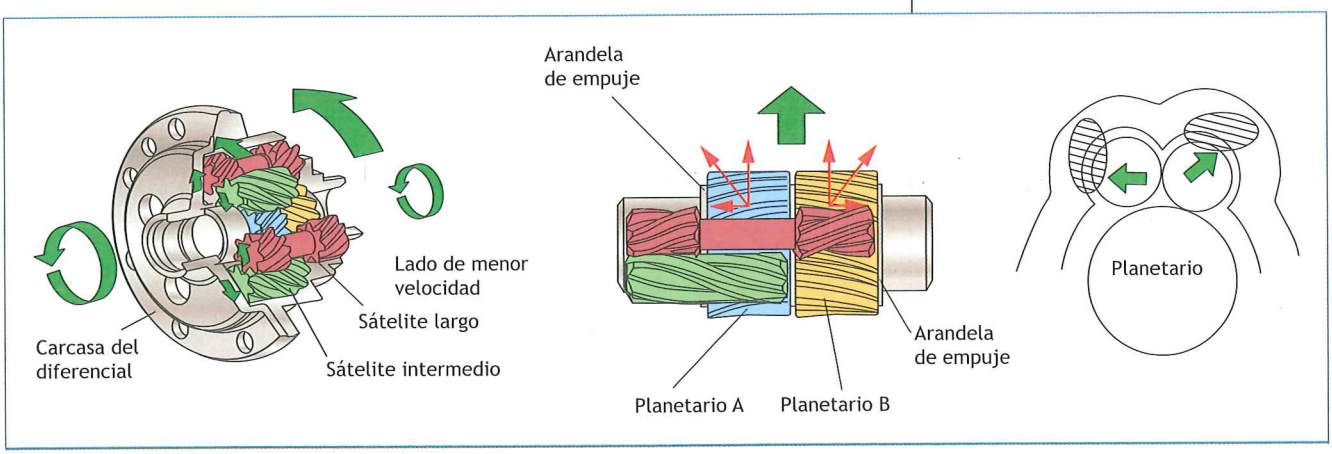
Con esta operación se consigue que un planetario gire en un sentido y el otro en el opuesto, produciéndose el adelantamiento en el giro de una rueda y el retraso de la opuesta respecto del giro de la carcasa del diferencial.

Funcionamiento con tendencia al deslizamiento de una rueda

Cuando una rueda tiende al deslizamiento, el diferencial evita que esa rueda se acelere bloqueándola.

Si las dos ruedas tienen distinta adherencia y, por tanto, distinto par de giro, la rueda con menor adherencia tenderá a acelerarse, produciéndose en ese momento una serie de fuerzas en el interior del diferencial:

- Las fuerzas de separación obtenidas en el eje de los planetarios que producen el empuje de estos contra las arandelas de fricción, frenando su giro con respecto a la carcasa.
- Las fuerzas de separación en el sentido radial, que empujan los satélites contra la carcasa del diferencial, generándose una fricción entre los satélites y la carcasa que tiende a bloquearlos en el giro.
- La propia fuerza de fricción entre los planetarios y los satélites, puesto que están engranados entre sí.



8.39. Funcionamiento del diferencial torsen tipo B (T-2) en la fase de bloqueo del deslizamiento.

Todas estas fuerzas de fricción en conjunto producen el frenado de la rueda que tiende a deslizarse, transmitiendo mayor par de giro a la rueda que presenta mejor adherencia.

5.3 > Diferenciales torsen tipo C (T-3)

Este tipo de diferencial torsen se utiliza principalmente como diferencial central en los vehículos con tracción permanente a las cuatro ruedas, por lo cual su funcionamiento se explica en la Unidad 10, que habla sobre estos sistemas.

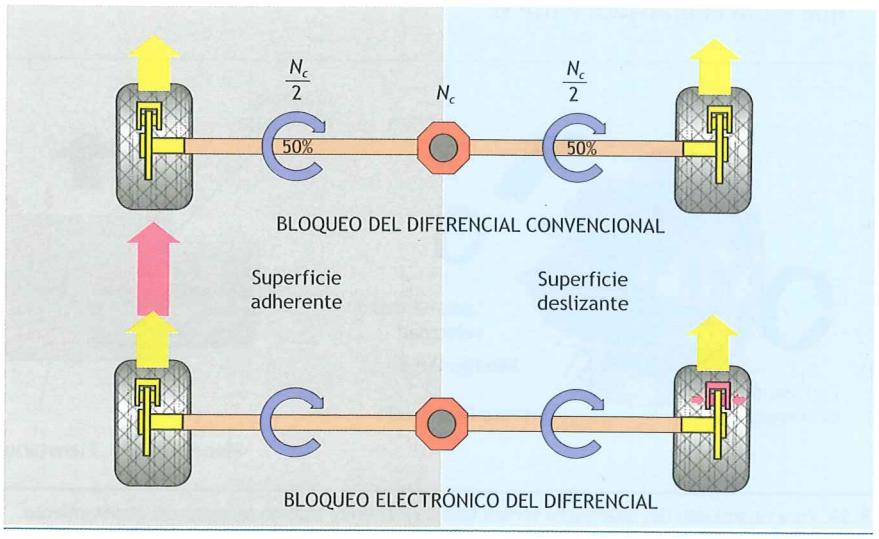
6 >> Bloqueo electrónico del diferencial

Existen métodos para evitar que las ruedas patinen cuando el vehículo acelera bruscamente o circula por terrenos de escasa adherencia que no actúan directamente sobre el diferencial. Estos sistemas son los encargados de controlar la tracción del vehículo y a ellos pertenece el sistema de bloqueo electrónico del diferencial.

Este sistema surgió del desarrollo de los sistemas ABS y fue el predecesor de los sistemas de control de tracción. De hecho, ha ido mejorando paulatinamente hasta convertirse en un sistema de control de tracción que actúa sobre los frenos y sobre el motor.

El sistema bloqueo electrónico del diferencial consiste, básicamente, en frenar la rueda que está deslizándose para que el diferencial transmita el movimiento a la otra rueda, evitando así que el vehículo se quede atascado.

La detección por los sensores del ABS de una gran diferencia de velocidad de giro entre las dos ruedas motrices indica que se va a producir el patinado de la que gira más deprisa. En ese momento, la UCE del sistema activa unas determinadas electroválvulas que envían presión de frenado a dicha rueda sin que el conductor intervenga en ningún momento sobre el pedal del freno (figura 8.40). Al mismo tiempo, y dependiendo del sistema, disminuye el régimen del motor para que se genere menos par, pues en ese momento se dispone de poca adherencia en el terreno para la tracción.



8.40. Funcionamiento del bloqueo electrónico del diferencial.

El bloqueo electrónico del diferencial resuelve el gran problema del bloqueo mecánico del diferencial al funcionar en las curvas, aunque tampoco pueden evitar que las ruedas patinen.

Estos sistemas son mucho más baratos que los diferenciales bloqueables o de deslizamiento limitado, por lo que se utilizan en muchos vehículos. Sin embargo, presentan un inconveniente: si su uso es muy prolongado, los frenos pueden quedar dañados por sobrecalentamiento. Para paliar este problema, el sistema puede desconectarse automáticamente.

7 >> Diferenciales y grupos reductores en vehículos industriales

En los vehículos industriales se emplean, básicamente, los mismos diferenciales y grupos reductores que en los turismos. Sin embargo, en determinados casos se utilizan grupos de reducción y diferenciales especiales. Los principales son:

- La reductora con planetario en el cubo de rueda.
- Los ejes traseros en tándem.

7.1 > Reductora con planetario en el cubo de rueda

Este sistema de reducción se sitúa en los cubos de rueda y está formado por un engranaje cuyo planetario está conectado permanentemente al eje de salida del movimiento del diferencial (figura 8.41).

El movimiento llega a este tren epicicloidal a través del planetario, que transmite el giro a los satélites. Como la corona se encuentra fijada al eje rígido de la suspensión, el giro de los satélites se transmite al eje portasatélites y este, como es solidario al eje de la rueda motriz, le transmite el giro a dicha rueda.

Con este tipo de reductoras se consigue reducir aún más las revoluciones de la rueda, aumentando al mismo tiempo el par de giro disponible para la tracción del vehículo.

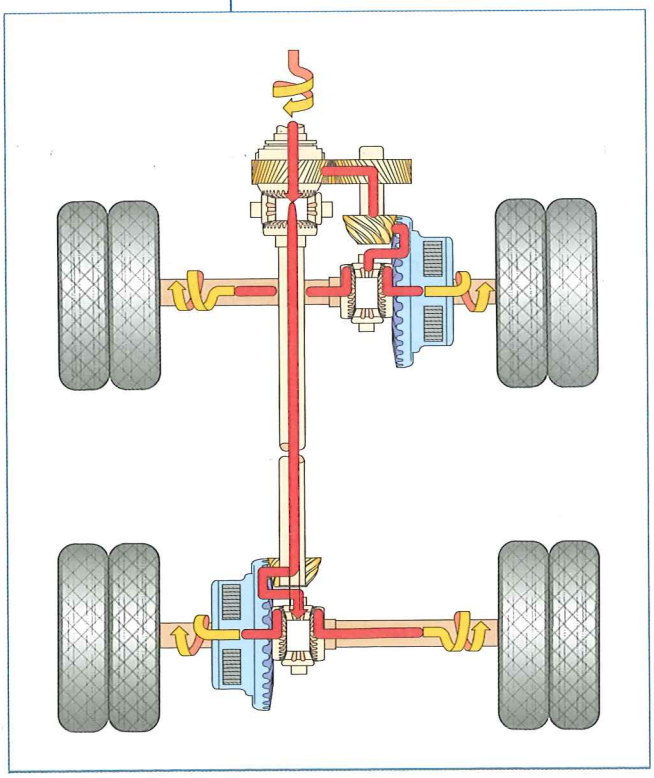
8.41. Reductora con el planetario en el cubo de rueda.

7.2 > Ejes traseros en tándem

Dependiendo del tipo de trabajo al que están destinados, los camiones pueden disponer de varios ejes motrices y en muchos de ellos se emplea un eje trasero en tándem que recibe el movimiento desde la caja de cambios a través de un árbol de transmisión. A la entrada del doble eje trasero motriz se encuentra una reductora compuesta por un eje de entrada y un eje de salida, engranados entre sí en toma constante por medio de dos piñones, y un eje intermedio dotado de un mecanismo diferencial.

La reductora divide el par suministrado entre los dos ejes motrices en la misma proporción, a la vez que compensa las variaciones de giro entre ellos (figura 8.42). Estos ejes también disponen de un diferencial para compensar el giro de sus dos ruedas motrices.

Cada uno de los ejes traseros en tándem puede llevar un mecanismo de doble reducción, que puede ser constante o insertable, dependiendo de si se puede conectar o desconectar. Esta reducción se consigue con un tren epicicloidal cuya corona está fijada en el interior de la corona del grupo de reducción y un planetario inmóvil, transmitiéndose el giro de los satélites al mecanismo diferencial del eje.



8.42. Esquema del funcionamiento de los ejes traseros en tándem.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

Dada la siguiente figura de un grupo de reducción final-diferencial presente en un cambio de velocidades de montaje longitudinal en un vehículo, resuelve las siguientes cuestiones:

1·· Anota el nombre de cada uno de los elementos enumerados en la figura.

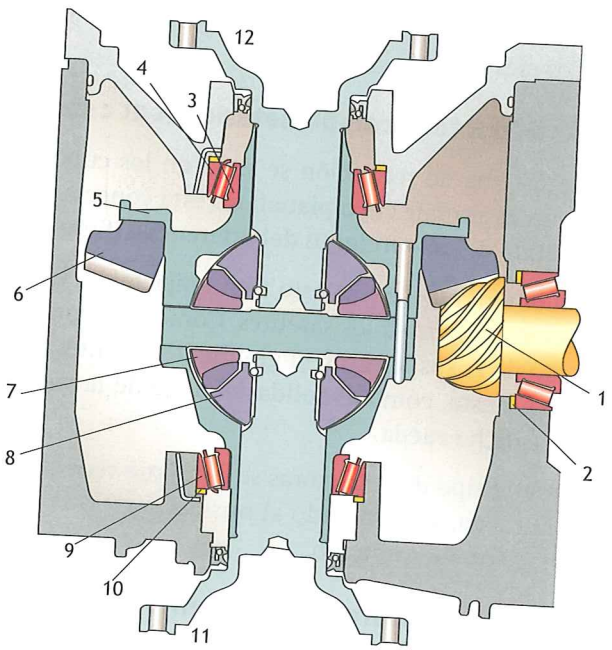
2·· ¿Qué tipos de rodamientos soportan al conjunto corona-diferencial? ¿Necesitan reglaje axial estos rodamientos? ¿Por qué?

3·· ¿Cuáles de los elementos de la figura transmiten el movimiento a las ruedas? ¿Qué tipo de unión es la que enlaza este elemento con el planetario del diferencial? ¿Se podría desmontar el elemento 11 del planetario sin abrir la caja de cambios?

4·· ¿Con qué elementos se regula la holgura entre la corona y el piñón? ¿Qué hay que hacer para disminuir esta holgura? ¿Y para aumentarla? Razona tus respuestas.

5·· ¿De qué elemento recibe el movimiento el piñón y a cuál se lo transmite? ¿Qué función realiza el elemento 2 en este conjunto? ¿Qué pasaría si se colocara otro de mayor espesor?

6·· Enumera los elementos que intervienen en la regulación del par de giro de la corona del grupo de reducción.



7·· ¿Qué les pasaría a los engranajes marcados con el número 7 si la rueda unida al elemento número 11 empezara a deslizar? ¿El vehículo se desplazaría o quedaría atascado? Razona tus respuestas.

.: APLICACIÓN :.

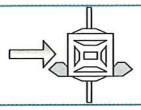
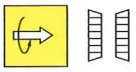
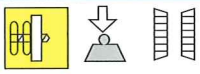
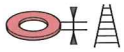
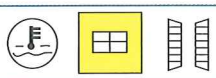
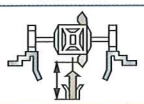
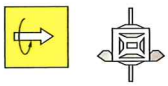
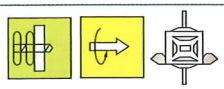
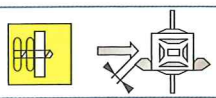
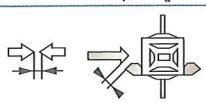
1·· Realiza, en algún grupo cónico que haya en el aula taller, la medición de la holgura entre los dientes del piñón y las de la corona. Asimismo, observa el método que se utiliza para regular esta holgura en ese grupo.

2·· Comprueba si en el aula taller existe algún diferencial de deslizamiento limitado y estudia el método que emplea para realizar el bloqueo.

Caso final

Ajuste del conjunto piñón-corona de un grupo de reducción final

•• Dada la siguiente tabla de características de un puente trasero de las furgonetas de transporte ligero Iveco Daily, realiza todas las operaciones necesarias para ajustar correctamente el conjunto piñón-corona del grupo de reducción final.

Características y datos		
	Tipo de puente: portante de reducción simple con bloqueo del diferencial con activación mecánica	450517/2
	**Grupo diferencial** Relación de reducción par cónico (n.° de dientes: piñón/corona) bajo solicitud	1/3,91 (11/43) - 1/4,30 (10/43) - - 1/4,56 (9/41) - 1/5,13 (8/41)
	Cojinetes piñón cónico	2 de rodillos cónicos
	Par de rodamiento cojinetes piñón cónico (cojinetes y junta lubrificados). Cojinetes nuevos	2 ÷ 3 Nm 0,20 ÷ 0,30 kgm
	Regulación de la precarga cojinetes piñón cónico	Mediante anillos de regulación
	Espesores anillos de regulación precarga cojinetes piñón cónico	1 - 2 mm con progresión de 0,025 mm
	Temperatura de montaje anillo cojinete interno en piñón cónico	80 °C ÷ 90 °C
	Ubicación piñón cónico con respecto a la caja del diferencial	Mediante espesores de regulación
	Espesor anillos de regulación interpuestos entre el piñón cónico y la caja del diferencial	3,45 ÷ 4,35 mm con progresión de 0,025 mm
	Cojinetes para la caja del tren de engranajes	2 rodillos cónicos
	Par de rodamiento y los cojinetes de la caja del diferencial	2,6 ÷ 3,9 Nm 0,26 ÷ 0,39 kgm
	Regulación para el rodamiento y los cojinetes de la caja del diferencial	Mediante anillos de regulación
	Espesor de los anillos de regulación del par de los rodamientos de la caja del diferencial	2,65 ÷ 3,20 mm con progresión de 0,05 mm
	Holgura entre el piñón y la corona	0,15 ÷ 0,20 mm
	Regulación de la holgura entre el piñón y la corona	Mediante anillos de regulación

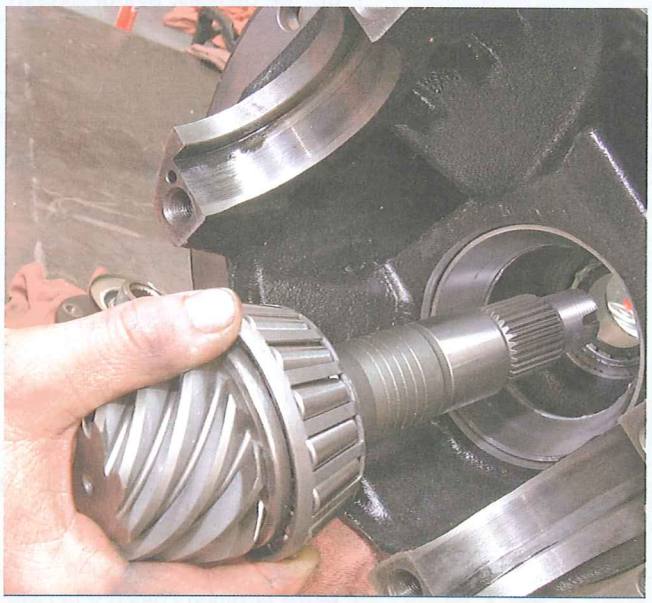
Solución •• Después de haber realizado una reparación en el puente trasero (sustitución de rodamientos, piñón o corona, sustitución de las pistas exteriores de los rodamientos, sustitución de la corona y el piñón, etc.), deben realizarse correctamente los reglajes necesarios para ajustar apropiadamente el grupo de reducción final.

Posición del piñón en la carcasa del grupo

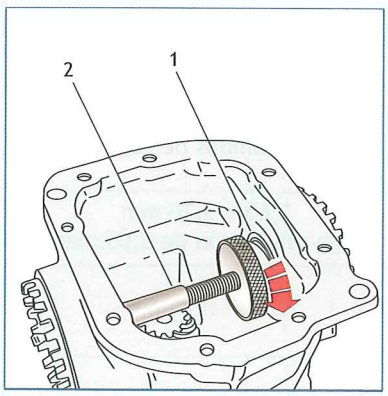
Este ajuste debe realizarse si se ha sustituido el conjunto piñón-corona. Tenemos que fijarnos en las cotas marcadas en las caras de ambos piñones cónicos, el nuevo y el sustituido, para ver si ha variado la profundidad del piñón con respecto a la profundidad que presentaba el piñón sustituido.

Una vez conocida la profundidad o cota de posicionamiento nueva, debe calcularse el nuevo espesor del anillo de reglaje. Este anillo va colocado entre el piñón y la carcasa o entre el piñón y el rodamiento, y el proceso de selección del espesor nuevo se puede resumir en los siguientes pasos:

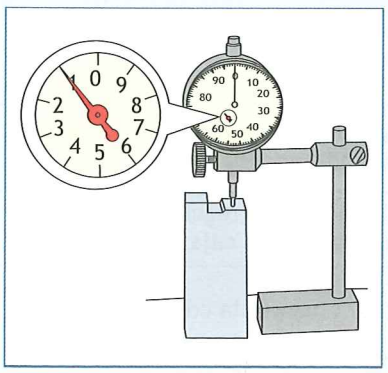
1. Colocar el piñón con sus rodamientos en la carcasa del grupo (figura 8.43). Dependiendo del fabricante, se puede emplear también un falso piñón.
2. Colocar un útil que representa al eje de la corona, con sus rodamientos correspondientes (figura 8.44).
3. Tarar a cero un reloj comparador con la medida estándar de profundidad del piñón con respecto al eje de giro de la corona, utilizando el patrón de medidas del grupo y una base plana de referencia (mármol comparador) (figura 8.45).
4. Colocar el reloj comparador sobre su soporte correspondiente en la cabeza del piñón cónico y medir el desplazamiento de la aguja sobre el útil colocado anteriormente, que representa el centro de giro de la corona (figura 8.46). Dependiendo del tarado, el desplazamiento de la aguja nos indicará el espesor del anillo de regulación a emplear.



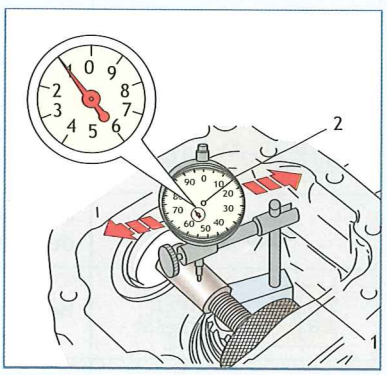
8.43. Colocación del piñón de ataque en la carcasa.



8.44. Colocación del útil que simula el eje de la corona.



8.45. Colocación de la medida estándar de profundidad del piñón en el reloj comparador.

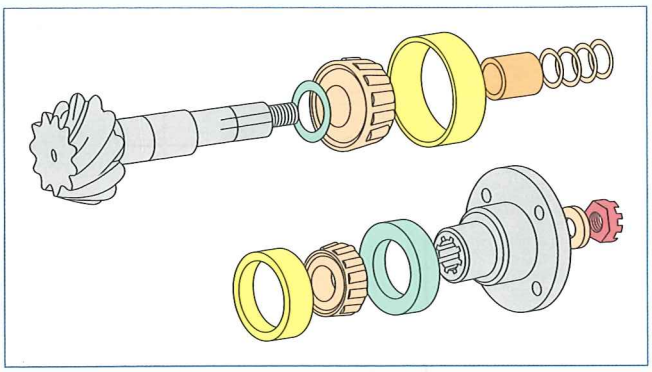


8.46. Medición de la distancia real entre el piñón de ataque y el eje de giro de la corona.

Precarga de los rodamientos del piñón

La precarga de los rodamientos que soportan el piñón se puede realizar por medio de anillos de diferentes espesores o por casquillos deformables. En nuestro caso, como se observa en la tabla, se utilizan anillos de espesores de regulación de la precarga.

Una vez introducido el eje del piñón, con sus rodamientos y espaciadores indicados, se mide su par de giro. Si este no es el indicado por el fabricante, en nuestro caso es de 2-3 Nm, deben colocarse los anillos del espesor determinado para obtener el par de giro correcto.

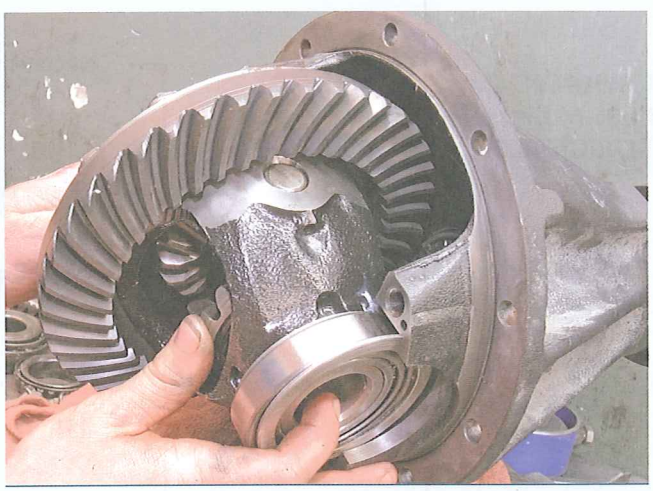


8.47. Piñón de ataque con arandelas de distinto espesor para regular la precarga de los rodamientos y, por tanto, el par de giro del piñón.

Precarga de los rodamientos del conjunto corona-caja del diferencial. Holgura entre dientes

La precarga de los rodamientos de soporte del conjunto corona-caja del diferencial se realiza, en este caso, mediante anillos de distintos espesores. En este ajuste puede variar la holgura entre los dientes del piñón y los de la corona, por lo cual ambas operaciones se realizan conjuntamente.

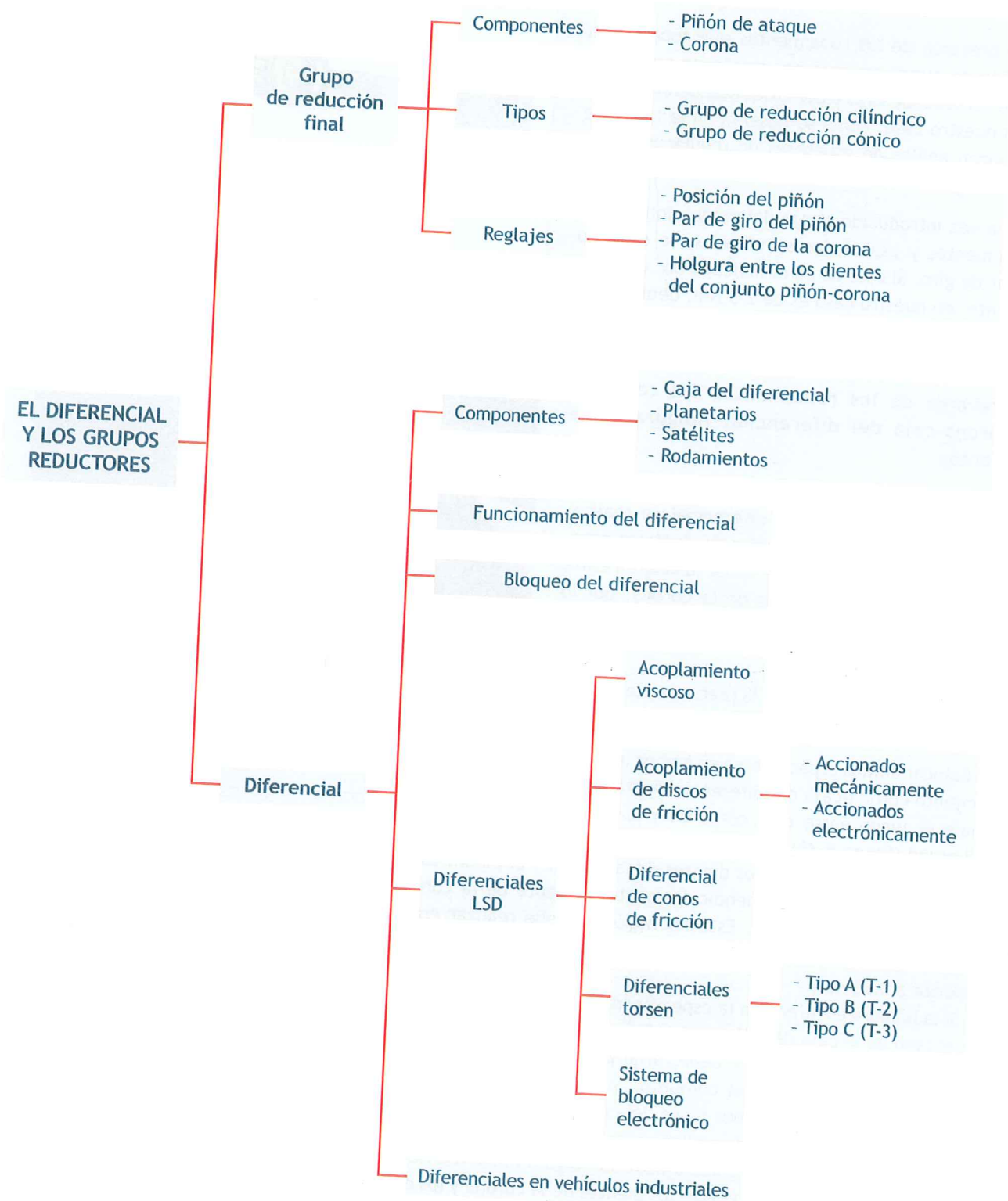
El proceso de regulación de la precarga y la holgura básicamente consta de los siguientes pasos:



8.48. Precarga de los rodamientos de la corona mediante anillos de diferentes espesores.

1. Colocar anillos espaciadores en ambos lados del conjunto corona-caja del diferencial hasta que se anule el juego entre este conjunto y la carcasa del grupo (figura 8.48).
2. Medir la holgura entre los dientes de la corona y el piñón. Esta operación se realiza colocando el palpador del reloj comparador perpendicularmente al diente de la corona. Manteniendo quieto el piñón, se gira la corona en ambos sentidos. Esta operación se debe realizar en varios dientes de la corona y el valor de la holgura tiene que estar, en nuestro caso, entre 0,15 y 0,20 mm. La diferencia entre estas medidas no debe ser superior a 0,05 mm.
3. Si la holgura es inferior a la especificada, se quitan anillos distanciadores del lado de la corona y se colocan en el lado de la caja del diferencial. Si la holgura es superior, se realiza la misma operación pero a la inversa. La cantidad de los anillos no debe variar para que no se modifique la precarga de los rodamientos.
4. Medir el par de giro del conjunto. Si la precarga obtenida es excesiva, se tiene que retirar la misma cantidad de anillos de ambos lados del conjunto. Si, por el contrario, la precarga es pequeña, se tiene que añadir la misma cantidad de anillos espaciadores en ambos lados.
5. Después de haber conseguido ajustar la holgura entre dientes y la precarga, se procede a realizar una inspección visual del contacto entre los dientes de la corona y los del piñón para comprobar si la profundidad del piñón y el ajuste de la holgura entre los dientes se ha realizado correctamente.

Ideas clave


EL DIFERENCIAL Y LOS GRUPOS REDUCTORES
Grupo de reducción final
Componentes
- Piñón de ataque
- Corona
Tipos
- Grupo de reducción cilíndrico
- Grupo de reducción cónico
Reglajes
- Posición del piñón
- Par de giro del piñón
- Par de giro de la corona
- Holgura entre los dientes del conjunto piñón-corona
Diferencial
Componentes
- Caja del diferencial
- Planetarios
- Satélites
- Rodamientos
Funcionamiento del diferencial
Bloqueo del diferencial
Diferenciales LSD
Acoplamiento viscoso
Acoplamiento de discos de fricción
- Accionados mecánicamente
- Accionados electrónicamente
Diferencial de conos de fricción
Diferenciales torsen
- Tipo A (T-1)
- Tipo B (T-2)
- Tipo C (T-3)
Sistema de bloqueo electrónico
Diferenciales en vehículos industriales

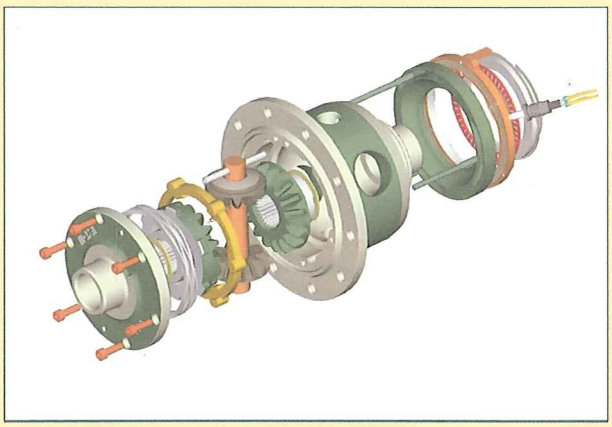
Diferencial Eaton ELocker™

El diferencial Eaton ELocker es un diferencial con bloqueo activado eléctricamente por parte del conductor que puede ser fácilmente reemplazable por el diferencial convencional con el que vienen equipados determinados vehículos para mejorar la tracción en determinadas condiciones de marcha fuera de la carretera.

Es un diferencial convencional que se puede bloquear mediante un interruptor a disposición del conductor y que consigue que el 100% del par de tracción llegue a las dos ruedas motrices. Este diferencial puede montarse tanto en el eje delantero como en el trasero.

Está compuesto por una bobina que, al pasar la corriente eléctrica, crea una fuerza electromagnética que produce el desplazamiento de un mecanismo de presión.

Este mecanismo gira produciendo un desplazamiento axial del dispositivo de bloqueo, el cual dispone de unas escotaduras que engranan con otras simétricas dispuestas en un planetario del mecanismo diferencial, uniendo así el planetario con la carcasa del diferencial.



8.49. Diferencial bloqueable 100% eléctricamente del fabricante EATON.

Cuando se desactiva el interruptor, la corriente deja de pasar por la bobina, produciéndose el desbloqueo gracias a un muelle que separa el planetario de la carcasa del diferencial y, de este modo, pasa a funcionar como un diferencial convencional.

¿Cómo se usa el diferencial Eaton ELocker™?

El accionamiento del bloqueo del diferencial debe realizarse antes de encontrarse con el obstáculo que se vaya a superar y siempre con el vehículo parado o a baja velocidad, es decir, con el deslizamiento mínimo de las ruedas.

Si se activa el diferencial Eaton ELocker™ cuando la rueda gira a altas revoluciones o el vehículo se mueve con gran velocidad se pueden producir roturas en el collar de accionamiento del bloqueo o en el mecanismo de engranaje.

Además, el bloqueo del diferencial debe ser desactivado después de superar el obstáculo del terreno y cuando el vehículo se encuentre sin carga o sin tomar una curva. Si se desactiva cuando el diferencial se encuentra con carga puede no desactivarse inmediatamente, provocando que el diferencial siga bloqueado cuando ya no se desea.

El bloqueo no debe mantenerse a velocidades superiores a 20 millas por hora (unos 32 km/h), pues puede producir comportamientos indeseables del vehículo o pérdidas de control.

Cuando un diferencial delantero o trasero está bloqueado, el comportamiento y la maniobrabilidad del vehículo se alteran, dificultándose la direccionabilidad. Por esta razón, el Eaton ELocker™ solamente debe utilizarse en el eje delantero a bajas velocidades y en el modo 4X4.

El bloqueo del diferencial solamente se debe usar en superficies de baja adherencia, ya que su uso continuado sobre superficies con buena adherencia produce fatigas innecesarias en los componentes del sistema de transmisión.

Fuente: www.eaton.com

unidad 9

Mecanismos de transmisión de movimiento

SUMARIO

- Sistemas de transmisión de movimiento
- Árbol de transmisión longitudinal
- Semiárbol de transmisión o palier
- Rodamientos de rueda
- Mantenimiento del sistema de transmisión

OBJETIVOS

- Conocer el sistema de transmisión de los vehículos y sus componentes principales.
- Realizar el mantenimiento del sistema de transmisión de movimiento.

1 >> Introducción a los sistemas de transmisión

Los sistemas de tracción de los vehículos automóviles de turismo de dos ejes pueden clasificarse según el eje al que se transmita la potencia del motor:

- **Tracción delantera:** disposición delantera longitudinal o transversal del motor que transmite el par motor al eje delantero. El vehículo es arrastrado.
- **Tracción trasera** (propulsión): disposición delantera o trasera del motor que transmite el par motor al eje trasero. El vehículo es empujado.
- **Tracción a todas las ruedas:** disposición delantera del motor (raramente trasera) que transmite el par motor de forma permanente o no a los dos ejes. Esta disposición se describe exhaustivamente en la Unidad 10.

Los distintos sistemas de tracción determinan el comportamiento dinámico del vehículo.

En la siguiente tabla se puede observar el reparto aproximado de peso entre los ejes cuando el vehículo está estático, en función de la configuración y la disposición del motor y el sistema de tracción.

Reparto de peso por eje				
Tipo de carga	Tracción delantera		Tracción trasera (motor delantero)	
	Eje delantero	Eje trasero	Eje delantero	Eje trasero
En vacío	61%	39%	50%	50%
En carga (2-5 plazas con equipaje)	De 49 a 60%	40 a 51%	De 44 a 50%	50 a 56%

Este reparto de peso se ve afectado durante el desplazamiento del vehículo por factores como la resistencia del aire, la inercia en aceleración o frenado y la resistencia por pendiente.

En función del sistema de tracción que el vehículo utilice, es necesario disponer de distintos componentes para transmitir el movimiento del motor y unir la cadena cinemática de la transmisión con las ruedas del vehículo. Estos componentes se pueden clasificar en:

- **Árboles de transmisión:** son los encargados de transmitir longitudinal y transversalmente el movimiento del motor. Existen dos tipos: el árbol longitudinal y los semiárboles o palieres.
- **Juntas de transmisión o acoplamientos:** unen los distintos elementos de la transmisión. Son de dos tipos: universales u homocinéticas.

Los distintos sistemas de tracción no solo condicionan el comportamiento dinámico del vehículo (la disposición del motor y el eje de transmisión), sino también aspectos como el espacio del habitáculo, la confortabilidad, el rendimiento motor, el precio, etc.

Clasificación de los vehículos por categorías (Reglamento General de Vehículos)

- **Categoría L:** vehículos de motor con menos de cuatro ruedas. Categorías de L1 a L5.
- **Categoría M:** vehículos de motor destinados al transporte de personas que tengan al menos cuatro ruedas o bien tres ruedas y un peso máximo que exceda de una tonelada. Categorías de M1 a M3.
- **Categoría N:** vehículos de motor destinados al transporte de mercancías que tengan al menos cuatro ruedas o bien tres ruedas y un peso máximo que exceda de una tonelada. Categorías de N1 a N3.
- **Categoría O:** remolques (incluidos los semirremolques). Categorías de O1 a O4.

Definiciones de vehículos automóviles (Reglamento General de Vehículos)

- **Automóvil:** vehículo de motor que sirve, normalmente, para el transporte de personas o cosas, o de ambas a la vez, o para la tracción de otros vehículos con los mismos fines. Se excluyen de esta definición los vehículos especiales.
- **Turismo:** automóvil destinado al transporte de personas que tenga al menos cuatro ruedas y, además del asiento del conductor, ocho plazas como máximo.

1.1 > Tracción delantera

En los vehículos de turismo con tracción delantera, el motor, la caja de cambios y el grupo diferencial están agrupados formando una unidad.

En los vehículos con tracción delantera, el motor puede tener las siguientes disposiciones:

- Delantera transversal por delante del eje.
- Delantera longitudinal por delante del eje.

Además estos vehículos tienen las siguientes características:

- El eje delantero es motriz y directriz.
- La longitud de la parte delantera del vehículo es más reducida.
- El reparto del peso está desequilibrado, ya que es mayor en el eje delantero (entre el 60 y 70%) que en el trasero.
- El mayor peso sobre las ruedas motrices favorece la tracción.
- Se produce pérdida de adherencia y motricidad del eje delantero en grandes aceleraciones por transferencia de peso al eje trasero.
- El motor está colocado en el lado derecho o izquierdo, según los países, para compensar el peso del conductor.
- Tendencia al subviraje.
- Buena estabilidad circulando en carreteras rectas y con baja adherencia. El vehículo en tracción es arrastrado, por lo que se genera un momento estabilizador.
- Los neumáticos delanteros soportan aproximadamente el 75% del esfuerzo de frenado del vehículo.

Con esta configuración se utilizan dos semiárboles para transmitir el movimiento transversal desde el diferencial o la caja de cambios a las ruedas del tren delantero.

1.2 > Tracción trasera (propulsión)

En la tracción trasera o propulsión, el par de tracción se transmite a las ruedas del eje trasero.

En los vehículos con tracción trasera, la disposición del motor puede ser delantera, trasera o central.

Mayoritariamente se utiliza la disposición delantera del motor con la caja de cambios en posición longitudinal y la tracción a las ruedas traseras se consigue a través de un árbol de transmisión longitudinal acoplado entre la caja de cambios y el conjunto diferencial situado entre los semiárboles traseros.

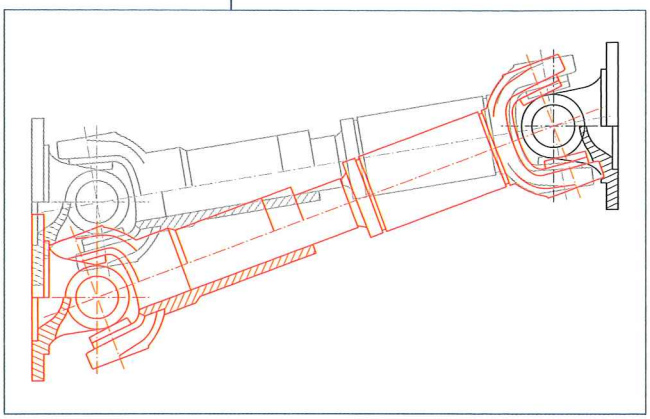
Los vehículos con tracción trasera tienen las siguientes características:

- Distribución más equilibrada del peso entre la parte delantera y la trasera.
- Mayor eficacia del sistema de frenado.
- A plena carga, la mayor parte de la masa del vehículo está dispuesta sobre el eje trasero, mejorando la capacidad de tracción.
- Mejor capacidad de tracción en rampas pronunciadas que los vehículos de tracción delantera debido a la transferencia de masas.

2 >> Árbol de transmisión longitudinal

El árbol de transmisión longitudinal es un componente mecánico del sistema de transmisión constituido por un tubo rígido hueco de sección circular que recibe el movimiento de la caja de cambios y la transmite hasta un grupo diferencial.

Este tipo de árboles se utilizan en aquellos vehículos que, dada su configuración, tienen que unir mecánicamente el conjunto motor-caja de cambios situado en la parte delantera con el grupo diferencial situado en la parte trasera.



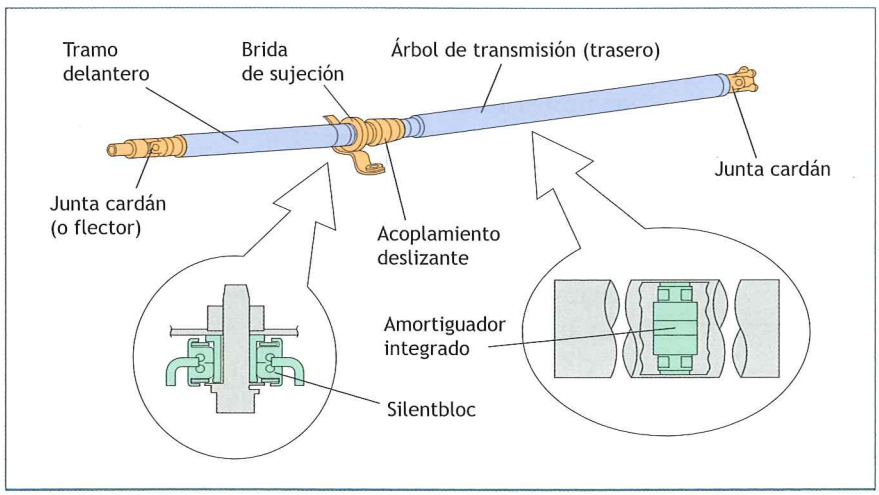
9.1. Variación del ángulo y de la longitud del árbol de transmisión.

En la configuración del árbol de transmisión debe considerarse lo siguiente (figura 9.1):

- La variación del ángulo que forma el árbol con respecto a la posición del árbol de salida de la caja de cambios debido a los movimientos de los ejes.
- La variación que experimenta la longitud del árbol por los cambios de distancia entre la caja de cambios y el eje trasero.

Por tanto, el árbol de transmisión está sometido a esfuerzos constantes de torsión y flexión.

El árbol de trasmisión básicamente está configurado como una cadena cinemática constituida por dos tramos y provista de unos acoplamientos (figura 9.2).



9.2. Configuración de un árbol de transmisión longitudinal.

El tramo delantero en su parte anterior se une a la caja de cambios mediante una junta universal (cardán o flector) y en su parte posterior (centro de la cadena cinemática) va fijado al piso de la carrocería a través de una brida de sujeción en cuyo interior se encuentra un rodamiento de bolas.

La unión al segundo tramo se realiza a través de un acoplamiento deslizante y este segundo tramo se une al conjunto diferencial a través de una junta cardán.

Árbol o eje

El término **árbol** se refiere a un componente en rotación que, a una velocidad determinada, transmite potencia.

El término **eje** se refiere a un componente inmóvil sobre el que hay instalados elementos en giro libre.

9.3. Flector de transmisión.

2.1 > Juntas universales

Las juntas universales son los elementos que utilizan los árboles de transmisión para unirse o acoplarse al conjunto de la transmisión. Estas juntas no mantienen la velocidad constante entre los árboles que unen, por lo que necesitan un árbol intermedio o una forma específica para conseguir que el árbol final tenga la misma velocidad que el árbol de entrada.

Las juntas universales utilizadas en los árboles de transmisión son:

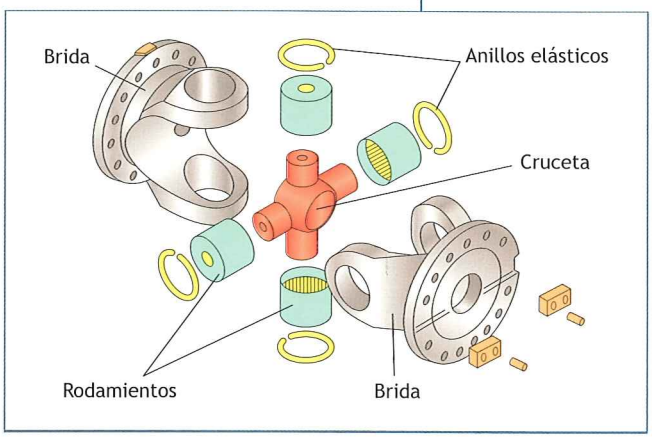
- Juntas flexibles o flectores.
- Juntas cardán o Hooke

Juntas flexibles (flector)

Las juntas flexibles o flectores de transmisión están constituidas por un elemento elástico de caucho, interpuesto entre dos elementos metálicos llamados bridas de acoplamiento (figura 9.3). Estas se encargan de reducir las vibraciones torsionales y los ruidos de la transmisión. Estas juntas no necesitan mantenimiento.

Tienen como inconveniente que no transmiten una velocidad uniforme entre los árboles que unen cuando trabajan con un ángulo mayor de 5°.

Juntas cardán

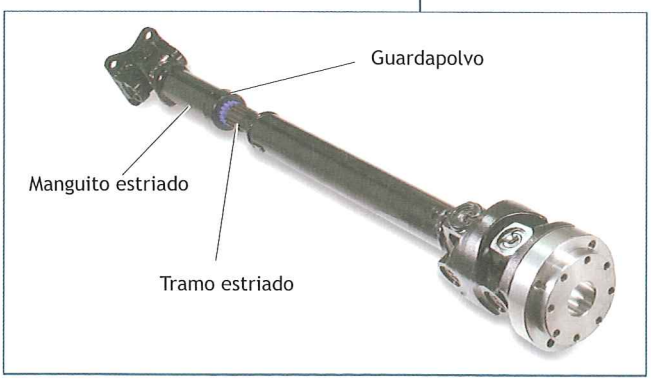


9.4. Componentes de una junta cardán.

Las juntas cardán se utilizan en los árboles de transmisión para unir los tramos del mismo y este con los componentes de la transmisión. Son capaces de realizar desviaciones angulares de hasta 30°, pero no son homocinéticas.

Una junta cardán básicamente está constituida por los siguientes elementos (figura 9.4):

- Dos bridas, una de ellas unida por lo general a un manguito deslizante.
- Una cruceta que une a las dos bridas por medio de cuatro rodamientos de agujas que se fijan a ellas con un anillo elástico.



9.5. Acoplamiento deslizante en un árbol de transmisión longitudinal.

Esta junta tiene el inconveniente de que produce una variación de la velocidad angular entre los árboles de entrada y salida a medida que aumenta el ángulo que se forma entre ellos. Para evitar este inconveniente en los árboles de transmisión se disponen dos juntas cardán unidas por un **acoplamiento deslizante** (figura 9.5). Con esta configuración se consigue que la transmisión entre el árbol de entrada y el de salida sea homocinética.

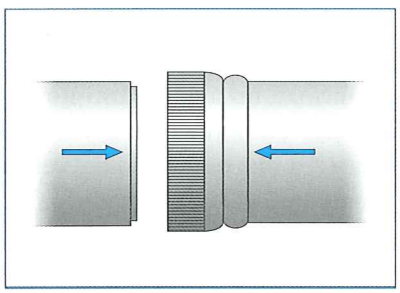
Este acoplamiento deslizante está formado por una punta estriada alojada en el interior de un manguito, también estriado. Además ambos están protegidos de la suciedad por un guardapolvo.

Técnica

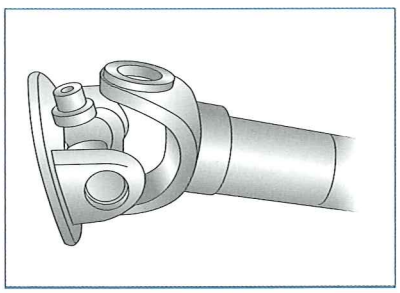
Desmontaje y montaje de la junta universal cardán de un árbol de transmisión

•• Para **desmontar una junta cardán** de un árbol de transmisión seguimos estos pasos:

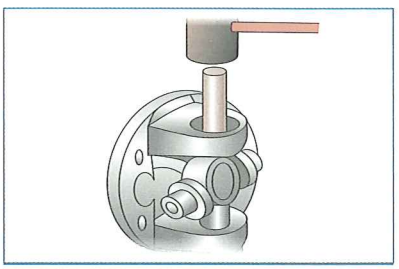
1. Marcamos la posición de la unión deslizante (figura 9.6). Aflojamos la tapa del guardapolvo y extraemos el tramo estriado del manguito.
2. Eliminamos la suciedad y los restos de pintura que pueda haber en los anillos elásticos de retención y los extremos de la cruceta.
3. Con unos alicates de puntas, extraemos los anillos elásticos de retención.
4. Sujetamos en un tornillo de banco el conjunto de la junta cardán correspondiente al tramo estriado, con una protección adecuada. Golpeamos ligeramente en el contorno de la brida con una maza de plástico hasta que asome el rodamiento de agujas.
5. Giramos el conjunto de la junta y extraemos el rodamiento. Realizamos la misma operación en el rodamiento opuesto.
6. Desmontamos el manguito estriado (figura 9.7).
7. Colocamos la brida sobre un apoyo cilíndrico de mayor diámetro que el rodamiento y desmontamos los dos rodamientos restantes, con ayuda de un botador de latón (figura 9.8). Después extraemos la cruceta.



9.6. Marcado de la unión deslizante.



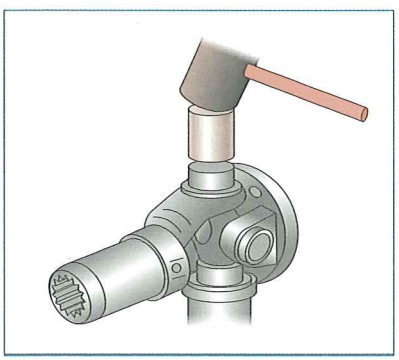
9.7. Desmontaje del manguito.



9.8. Desmontaje de los rodamientos de la brida.

Para **montar la junta cardán** procedemos de la siguiente forma:

1. Utilizamos un kit de reparación para juntas cardán. Impregnamos las agujas de los rodamientos con vaselina para mantenerlas en su posición. Llenamos de grasa los rodamientos hasta la mitad de su capacidad.
2. Montamos la cruceta y los rodamientos en los alojamientos de la horquilla y golpeamos ligeramente sobre un protector hasta introducir el rodamiento en su posición (figura 9.9). Colocamos los anillos elásticos de retención.
3. Repetimos la operación con el resto de los rodamientos.
4. Comprobamos el posicionamiento correcto de los anillos elásticos. Cubrimos con abundante grasa las ranuras del manguito y el tramo estriado. Montamos el conjunto manguito-tramo estriado comprobando el alineamiento correcto de ambos (figura 9.6) y engrasamos el árbol de transmisión.

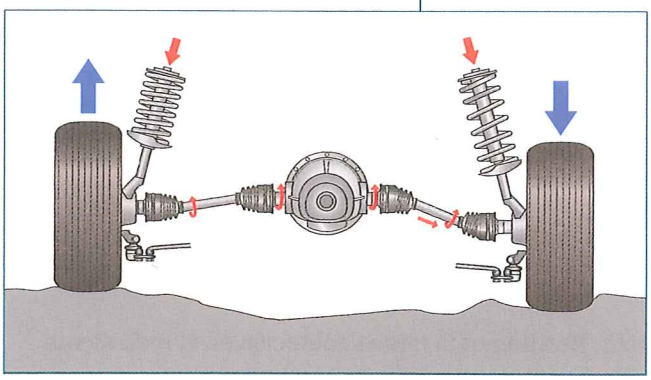


9.9. Montaje de los nuevos rodamientos.

Los conjuntos (kits) de cruceta cardán contienen todos los elementos necesarios para realizar un trabajo completo, ya que incluyen el cuerpo de la cruceta, los rodamientos y los correspondientes anillos elásticos de fijación de los rodamientos al cuerpo de la cruceta.

3 >> Semiárbol de transmisión (palier)

La función de los semiárboles es unir el conjunto diferencial y las ruedas motrices, transfiriendo el par y la velocidad.



9.10. Esfuerzos en los semiárboles de transmisión.

Los semiárboles deben proporcionar una velocidad de giro constante a las ruedas durante el movimiento vertical de la suspensión y, en su caso, posibilitar además el movimiento de la dirección. También deben compensar las tolerancias de montaje entre el motor, la caja de cambios y la carrocería.

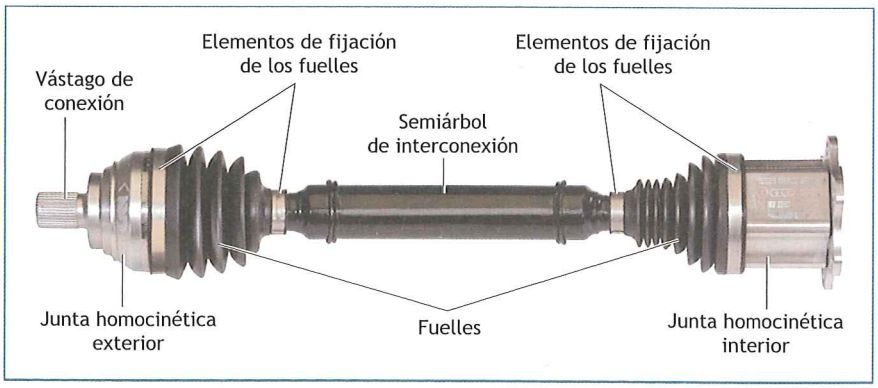
Los semiárboles de transmisión en su funcionamiento están sometidos a esfuerzos de torsión que generan una tensión cortante, por lo que deben ser lo suficientemente resistentes como para soportarla (figura 9.10).

En la configuración de tracción delantera con el motor en posición transversal, debido a su posición asimétrica igual que la caja de cambios, la longitud de los semiárboles de transmisión es diferente. Por lo general, el semiárbol más corto es macizo y el más largo suele ser de perfil tubular.

Esta disposición, aunque muy utilizada, tiene el inconveniente de que, debido a la desigualdad de los semiárboles, estos forman un ángulo distinto con el eje del pivote, lo que origina diferentes pares en la tracción con respecto al eje de la dirección. Esto provoca que aparezca una querencia del vehículo más o menos apreciable a girar hacia uno de los lados. Para evitarlo, los fabricantes, en los vehículos con motorización más potente, montan semiárboles de igual longitud, para lo cual hacen uso de un **árbol intermedio.**

Los principales componentes que forman un semiárbol de transmisión son (figura 9.11):

- Vástago de conexión.
- Junta homocinética exterior.
- Elementos de fijación de los fuelles.
- Fuelle o guardapolvo.
- Semiárbol de interconexión.
- Junta homocinética interior.



9.11. Componentes de los semiárboles de transmisión.

3.1 > Vástago de conexión

El vástago de conexión es la parte del semiárbol de transmisión que se utiliza para unirlo con el cubo de rueda.

Los vástagos de conexión más usuales se clasifican en (figura 9.12):

- **Conexión de vástago largo:** es la conexión de junta homocinética fija más utilizada. Se une con el estriado interior del cubo de rueda para transmitir el par y la velocidad. La unión se fija mediante la utilización de una arandela y una tuerca.
- **Conexión de vástago corto:** se utiliza para reducir el peso de la transmisión y facilitar el montaje sobre el vehículo. La fijación se realiza mediante un tornillo de dilatación.
- **Conexión de «estriado de cara»:** es un concepto nuevo de conexión al cubo de rueda. El estriado radial de las juntas convencionales se sustituye por un estriado axial que está situado en la cara frontal de la junta fija que se coloca, con otro estriado axial, en la cara interna del cubo de rueda. La fijación se realiza mediante un tornillo de dilatación. Proporciona reducción de peso y mayor capacidad de transmisión del par y, además, no tiene efecto de contragolpe *(backlash)*.

Conexión de vástago largo

Conexión de vástago corto

Conexión de «estriado de cara»

9.12. Tipos de vástagos de conexión con el cubo de rueda.

3.2 > Juntas homocinéticas

Las juntas homocinéticas son un tipo de juntas que, a diferencia de las juntas universales, mantienen la velocidad de giro constante.

El tipo y disposición de las juntas homocinéticas de los semiárboles de transmisión de los vehículos depende del tipo de transmisión utilizada:

- Vehículos con tracción delantera: la disposición de la transmisión a las ruedas motrices del eje delantero utiliza dos semiárboles, uno para cada rueda. Cada uno de ellos dispone de dos juntas homocinéticas. En el lado de la caja de cambios se utiliza una junta homocinética de tipo deslizante (figura 9.13) y en el lado de la rueda se utiliza una junta homocinética fija de tipo Rzeppa (figura 9.14).
- Vehículos de propulsión con suspensión trasera independiente: los que tienen el conjunto diferencial en el eje trasero también utilizan dos semiárboles para la transmisión del par a las ruedas. En este caso cada semiárbol dispone de dos juntas homocinéticas de tipo deslizante (figura 9.15).

Ángulo de articulación máximo: 23°
Deslizamiento máximo: 50 mm

9.13. Junta homocinética deslizante (en el lado de la caja).

Ángulo de articulación maximo: 47°

9.14. Junta homocinética fija de tipo Rzeppa (en el lado de la rueda).

Ángulo de articulación máximo: de 26° a 31°

Deslizamiento máximo: 50 mm

Ángulo de articulación máximo: 22°

Deslizamiento máximo: 50 mm

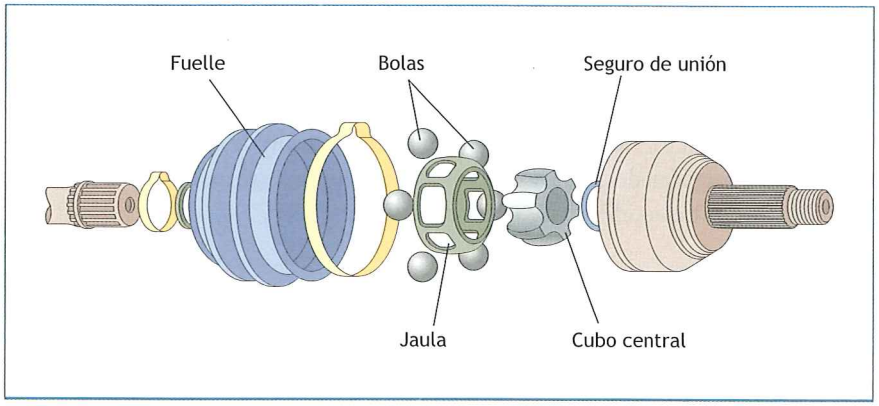
9.15. Juntas deslizantes de bolas para vehículos de propulsión.

Junta homocinética exterior fija

La junta homocinética fija (lado de la rueda) más utilizada en los vehículos actuales es la **junta de bolas tipo Rzeppa**, que suele ir combinada con una junta trípode deslizante situada en el lado de la caja de cambios.

En el extremo del semiárbol de interconexión la junta Rzeppa incorpora un estriado que encaja en el cubo central que se encuentra ubicado en el interior de una jaula. Esta jaula tiene forma esférica, pero con unos extremos abiertos, además de seis huecos en su periferia. Esta jaula y el cubo central se encajan en el alojamiento acanalado que la copa tiene en su interior. La copa posee además un vástago estriado de conexión con una parte roscada que lo fija al cubo de rueda (figura 9.17).

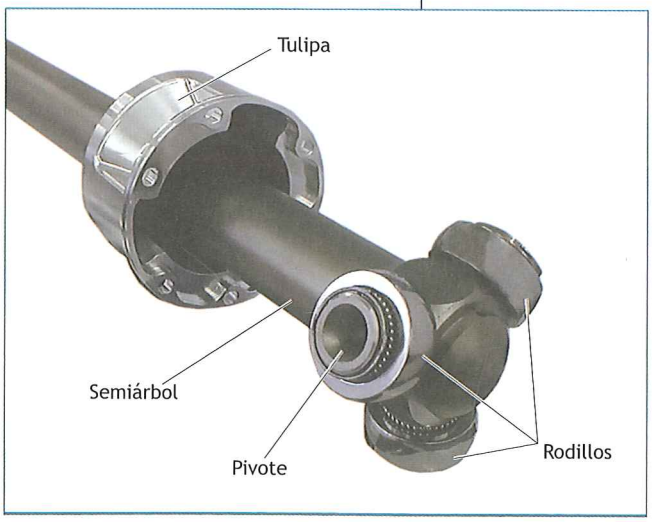
9.16. Junta homocinética fija de tipo Rzeppa (en el lado de la rueda).



9.17. Constitución de la junta homocinética Rzeppa.

Estas juntas disponen de seis bolas de acero que descansan en las ranuras de la copa y van encajadas en las aberturas practicadas en la jaula. Esta disposición de la junta homocinética proporciona una unión con la rueda extremadamente flexible, lo que permite adaptarse a los cambios de ángulo que se producen al girar la dirección.

Junta homocinética interior



9.18. Partes de una junta homocinética tipo trípode deslizante.

Este tipo de junta se instala en el extremo interior del semiárbol, que va unido al conjunto diferencial. La junta más utilizada es la **junta tipo trípode deslizante** o Glancer.

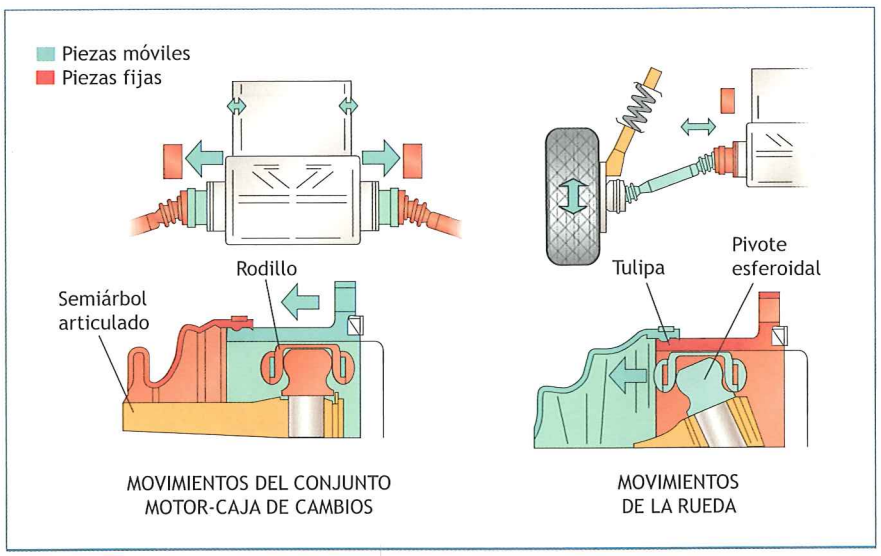
Sus principales características son:

- Reducción de la transmisión de oscilaciones y de ruidos del conjunto motor-caja de cambios a la carrocería.
- Alto poder de transmisión de par.

Esta junta está constituida por una cruceta con tres pivotes que va unida al semiárbol de interconexión y que incorpora un rodillo cóncavo en cada uno de los extremos de los pivotes. Estos rodillos están encajados en unas ranuras mecanizadas en el interior de una carcasa o tulipa. El conjunto se une a la salida del conjunto diferencial.

Las juntas homocinéticas interiores deben absorber y compensar los siguientes movimientos (figura 9.19):

- Las variaciones de longitud que se producen por causa del movimiento del conjunto motor-caja de cambios debido a las oscilaciones. Este movimiento es compensado por la junta al desplazarse su tulipa sobre los rodillos, con lo que el semiárbol no varía de posición.
- Los movimientos del resorte de la suspensión (extensión y contracción) provocados por el movimiento de las ruedas debido a las irregularidades del pavimento. La tulipa en esta ocasión permanece inmóvil. En la fase de expansión del resorte de la suspensión, los rodillos se desplazan sobre el ranurado interior de la tulipa, basculando al mismo tiempo el pivote del trípode en el interior del rodillo, lo que permite el movimiento ascendente y descendente de las ruedas.



9.19. Comportamiento de la junta tipo trípode deslizante (con pivotes esferoidales).

3.3 > Fuelles

El fuelle o guardapolvo es el elemento que protege del exterior los componentes de las juntas homocinéticas. Debe soportar los movimientos de los semiárboles de la transmisión (giros y torsiones), posiciones angulares de 50° o superiores, desplazamientos longitudinales de 60 mm, variaciones de temperatura extremas, de −40 °C a 160 °C, impactos de componentes desprendidos del asfalto, sal, etc. El mantenimiento de los fuelles debe realizarse periódicamente con el fin de detectar a tiempo su posible deterioro, ya que podría ocasionar daños en las juntas homocinéticas.

Fuelles compactos

Los fuelles compactos suelen estar fabricados con materiales termoplásticos, que tienen aspecto de plástico rígido. Estos guardapolvos, por lo general, se montan en el extremo exterior de los semiárboles (lado de la rueda). La sustitución de un fuelle dañado de una junta homocinética por otro fuelle compacto supone tener que desmontar la junta homocinética del semiárbol de interconexión.

9.20. Fuelle compacto.

Fuelles partidos

La utilización de un fuelle partido no requiere el desmontaje del semiárbol, lo que facilita la operación de sustitución. Por el contrario, es necesario realizar un montaje muy minucioso para asegurar una unión a prueba de fugas, además de evitar su manipulación mientras no esté endurecido el adhesivo que se emplea para instalarlo.

Fuelles de tipo universal

9.21. Fuelle tipo universal.

Los fuelles universales suelen estar fabricados con neopreno. Por lo general, se montan en el lado exterior e interior de los semiárboles, si bien en el lado interior únicamente en la última generación de transmisiones.

La instalación de este tipo de fuelle no requiere desmontar la junta homocinética, sino solo el semiárbol situado en el extremo exterior acoplado a la rueda. Es necesario utilizar el útil adecuado (figura 9.22), para estirar el fuelle hasta que se pueda introducir por encima de la junta homocinética.

9.22. Cono para la colocación de los fuelles universales.

9.23. Útil neumático para la colocación de los fuelles universales.

Independientemente del tipo de fuelle que se vaya a usar para la reparación, los fabricantes recomiendan, en todos los casos, desmontar la junta homocinética del semiárbol para proceder a limpiar sus componentes e inspeccionar el estado de los mismos antes de instalar el nuevo fuelle.

Fijación de los fuelles

9.24. Abrazaderas de fijación de los fuelles y su útil de instalación.

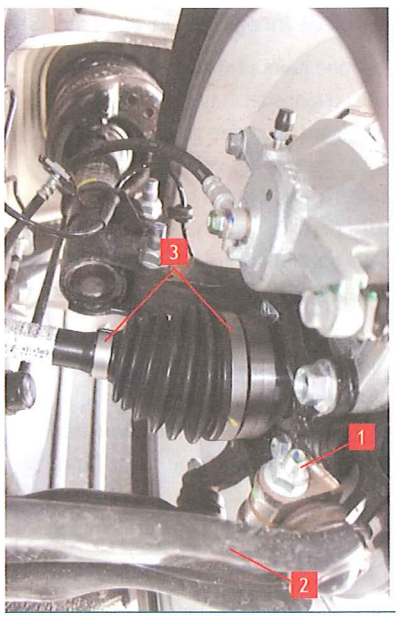
La fijación de los fuelles a las juntas homocinéticas y semiárboles de interconexión se realiza mediante el uso de abrazaderas específicas. Dependiendo de su aplicación específica, las abrazaderas de fijación pueden estar fabricadas con acero galvanizado, acero inoxidable o aluminio.

Cada abrazadera necesita del útil adecuado para su instalación (figura 9.24). Una instalación defectuosa de la abrazadera conlleva el posible deterioro de la junta homocinética debido a la pérdida de hermeticidad del conjunto.

Técnica

Sustitución del fuelle de una junta homocinética exterior

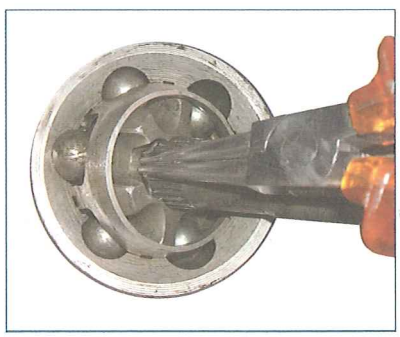
•• Para realizar esta técnica se utiliza un Ford fiesta con disposición de seguro interno (seguro en el cubo) en la unión del semiárbol de conexión y el cubo central de la junta homocinética.



9.25. Ubicación de los componentes.

Desmontaje del semiárbol de conexión

1. Inmovilizamos el vástago del amortiguador del lado del semiárbol correspondiente y aflojamos aproximadamente cinco vueltas la tuerca de sujeción del amortiguador.
2. Posicionamos y calzamos el vehículo en el elevador y lo elevamos.
3. Aflojamos y extraemos la unión roscada (1) de la rótula del brazo oscilante inferior a la mangueta. Extraemos también el brazo oscilante inferior (2) y quitamos las dos abrazaderas de sujeción del fuelle (3) (figura 9.25).
4. Deslizamos el fuelle sobre el semiárbol de conexión para descubrir la junta homocinética.
5. Respetando el ángulo de inclinación máximo de la junta homocinética (45°), extraemos la grasa del interior de la junta.
6. Abrimos el seguro (interno en el cubo) con unos alicates de puntas adecuados y lo mantenemos abierto (figura 9.26). Ejercemos presión sobre la mangueta hacia el exterior, tomando la precaución debida para no dañar la junta interior trípode. Soltamos el semiárbol de conexión de la junta homocinética exterior.
7. Extraemos el fuelle.



9.26. Extrayendo el seguro del semiárbol.

Montaje del semiárbol de conexión

1. Sustituimos el seguro y las abrazaderas del fuelle. Montamos el seguro nuevo en la ranura del cubo de la junta homocinética. Introducimos sobre el semiárbol de conexión un fuelle nuevo y específico para la junta homocinética. Introducimos el semiárbol de conexión en la junta homocinética hasta que se enclava en el seguro. Con la grasa especificada por el fabricante, engrasamos la junta homocinética y el fuelle con la cantidad adecuada para asegurar la correcta vida útil de la junta y el fuelle (aprox. 40 g); ponemos el 70% en la junta homocinética y distribuimos el resto de forma uniforme en el fuelle.
2. Colocamos el fuelle exactamente en su posición en la junta homocinética. Posicionamos las abrazaderas y, con el útil adecuado, procedemos a tensarlas (las de 0,8 mm de grosor a 12 Nm y las de 1,1 mm a 20 Nm).
3. Posicionamos e introducimos la rótula del brazo oscilante inferior en la mangueta. Posicionamos y roscamos el conjunto tornillo-tuerca y le damos el apriete preciso (52 Nm).
4. Bajamos el vehículo con el elevador, inmovilizamos el vástago del amortiguador y apretamos su tuerca (46 Nm).

Nota: existen tres tipos de seguro en la unión del cubo central con el semiárbol de conexión en las juntas homocinéticas de bolas:

- Seguro externo (seguro en el semiárbol de conexión).
- Seguro combinado (en el semiárbol de conexión) con alojamiento en el cubo.
- Seguro interno (seguro en el cubo).

Rodamiento de rueda con anillo de impulsos integrado en el retén

El retén que monta los rodamientos dispone de un material elastómero con partículas magnéticas que se aplica directamente sobre el deflector del mismo y que tiene como función ser el anillo de impulsos para los sensores de velocidad de rueda para el sistema ABS/ESP.

Es importante que el rodamiento se coloque con la orientación correcta: la cara que incorpora el anillo de impulsos va posicionada hacia el sensor de velocidad de la rueda. Normalmente no hay ninguna señal exterior que identifique el anillo de impulsos; para ello se debe utilizar un detector de codificación magnética (figura 9.27).

9.27. Rodamiento de rueda y detector de codificación magnética para identificar el anillo de impulsos integrado en el retén.

9.28. Rodamiento de rodillos cónicos.

4 >> Rodamientos de rueda

Los rodamientos de rueda son los puntos de apoyo y giro de los cubos de rueda de los vehículos. En su funcionamiento están sometidos a grandes esfuerzos (cargas radial y axial), por lo que deben poseer gran resistencia y precisión en el montaje.

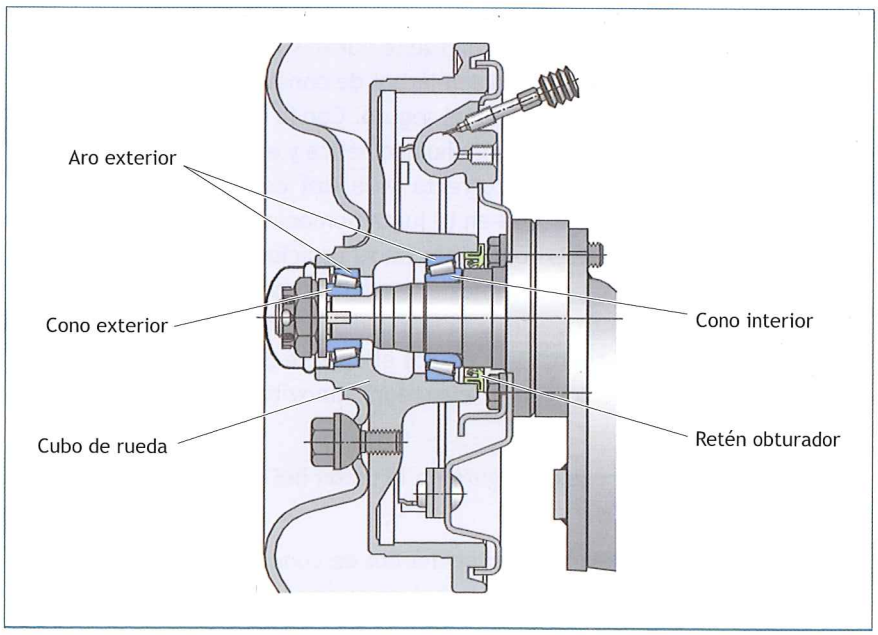
En la actualidad el rodamiento de rueda forma un conjunto con el cubo, como una única unidad integrada (rodamientos de rueda de 2ª y 3ª generación). Estas unidades de cubo vienen preengrasadas y preajustadas. La unidad de cubo de rueda puede transmitir el par de tracción y actuar como punto de sujeción para el disco de freno y la rueda, además de servir como elemento estructural de la suspensión e integrar los sensores de velocidad de la rueda.

4.1 > Rodamiento de rodillos cónicos

A pesar de que hoy en día se están incorporando cada vez más las unidades integradas en el cubo de rueda, los rodamientos de rodillos cónicos sin retenes integrados todavía se siguen utilizando en los vehículos. Estos rodamientos están fabricados de manera que puedan soportar las cargas radiales y axiales cuando se instalan con la holgura de montaje adecuada.

Se utilizan tanto para ruedas delanteras como traseras no motrices. Se montan dos por rueda en la siguiente disposición de conjunto: un aro interior, los rodillos cónicos y un aro exterior.

Los rodamientos de rodillos cónicos deben montarse utilizando grasa de alta calidad y extremando las precauciones al manipular en el montaje el retén obturador nuevo. Se deberá ajustar la holgura de montaje (apriete de precarga) según las indicaciones del fabricante.



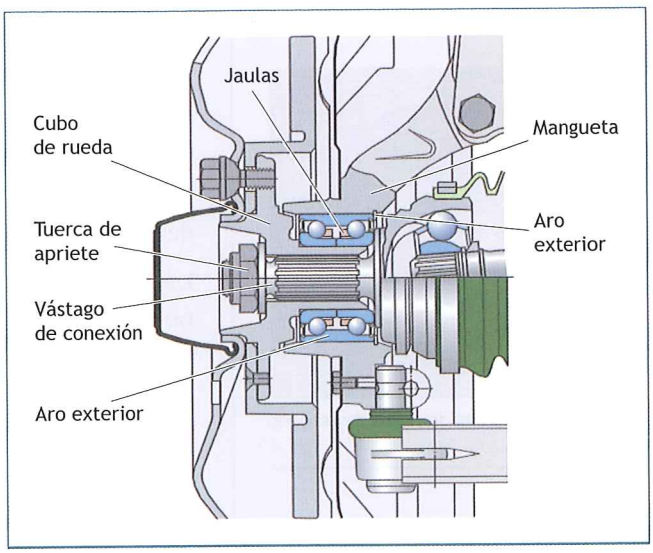
9.29. Rodamiento de rodillos cónicos (TRB).

4.2 > Rodamiento de rueda de primera generación

Es un rodamiento de bolas de doble hilera con contacto angular. Ofrece un apoyo específico cuando la carga es aplicada al rodamiento en el trazado de las curvas. Se compone de un aro exterior y dos aros interiores adaptados a las bolas del rodamiento que proporcionan la holgura correcta.

Las jaulas para las dos hileras de bolas están hechas de poliamida reforzada con fibra de vidrio. Suelen utilizarse en las ruedas motrices, aunque también pueden encontrarse en los tambores de las ruedas no motrices.

El rodamiento está engrasado y sellado de por vida.



9.30. Rodamiento de rueda de primera generación.

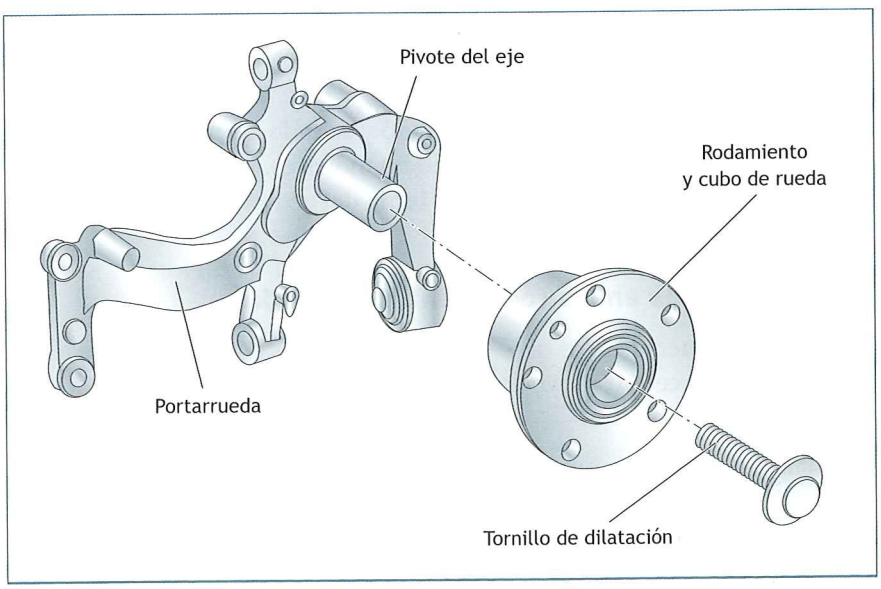
4.3 > Rodamiento de rueda de segunda generación

El rodamiento y el cubo de rueda forman un conjunto. El rodamiento de rueda va unido mediante un tornillo extensible o de dilatación al pivote del eje del portarrueda. Con esta unión roscada se consigue el pretensado del rodamiento de rueda.

Básicamente se compone de un aro exterior con una brida integral que hace las funciones de un cubo de rueda.

Las superficies de rodadura del aro exterior están endurecidas por inducción para mejorar el rendimiento del rodamiento. La brida tiene gran resistencia y dispone de orificios roscados o espárragos para el montaje del disco de freno-tambor de freno y la rueda.

Este tipo de rodamiento de rueda se suele utilizar en ruedas delanteras o traseras no motrices.



9.31. Rodamiento de rueda de segunda generación.

Vehículos con rodamientos de segunda generación

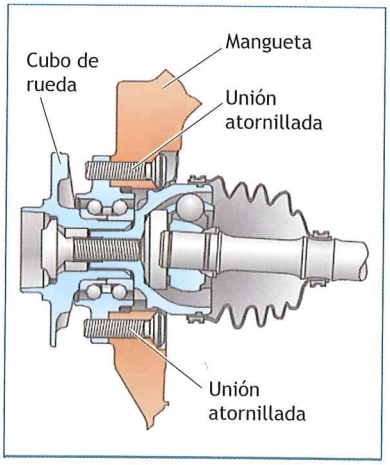
Los rodamientos de segunda generación se montan en modelos de vehículos como Audi A3, BMW 3 (E46), VW Golf, Peugeot 307, Fiat Bravo o Fiat Grande Punto.

9.32. Unidad de cubo de rueda de segunda generación.

9.33. Unidad de cubo de rueda de tercera generación.

Vehículos con rodamientos de tercera generación

Los rodamientos de tercera generación se montan en vehículos como Mini Cooper, Saab 9-3, BMW 7 (E65), Audi A6, VW Passat V u Opel Astra H.



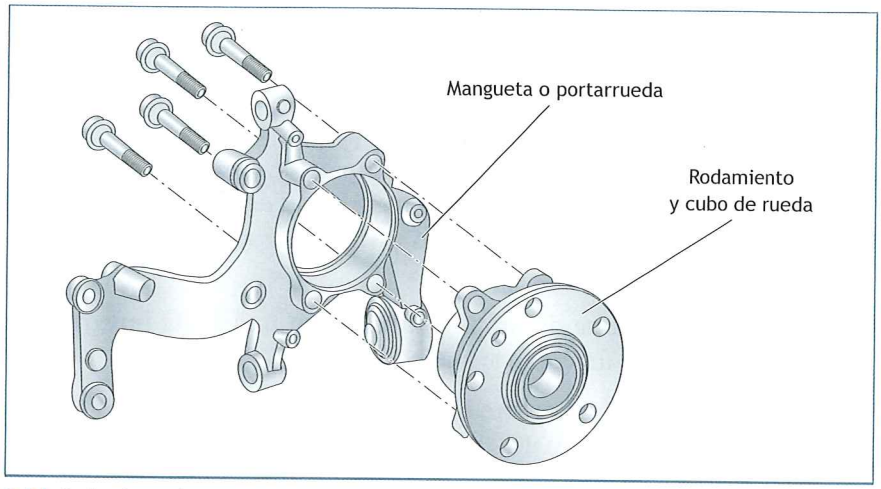
9.35. Unidad de cubo de rueda de tercera generación.

4.4 > Rodamiento de rueda de tercera generación

El rodamiento de rueda no está insertado a presión en la mangueta, sino que forma una unidad con el cubo de rueda y va unido al conjunto directamente mediante una unión roscada a la propia mangueta.

Este sistema permite sustituir el rodamiento de rueda sin tener que proceder al desmontaje de la mangueta o el semiárbol de transmisión.

Las fuerzas de pretensado para ajustar la holgura de los rodamientos ya no se aplican a través de la unión atornillada del propio rodamiento. Gracias a estos cambios, se obtiene una vida útil más larga de los rodamientos y quedan simplificados los trabajos de desmontaje, sustitución y montaje de los mismos.



9.34. Rodamiento de rueda de tercera generación.

Estos rodamientos se componen de dos bridas: una sirve para fijar el disco de freno a la rueda del vehículo, y la otra para fijar el conjunto a la mangueta del vehículo. La brida del aro exterior está atornillada a la mangueta. La brida del aro interior dispone de orificios roscados o espárragos para el montaje del disco de freno y la rueda.

Este rodamiento de rueda está engrasado y sellado de por vida y se suele utilizar tanto en ruedas motrices como no motrices. Para las ruedas motrices, el par de fuerza se transmite a la brida del aro exterior mediante una ranura en espiral.

4.5 > Anomalías en los rodamientos de rueda

Los grandes esfuerzos a los que están sometidos los rodamientos de rueda y su desgaste excesivo provocan anomalías en el funcionamiento de los mismos.

Normalmente, estas anomalías provocan la aparición de ruidos extraños o zumbidos durante la circulación del vehículo y terminan produciendo el mal funcionamiento de los rodamientos.

Para corregirlo es necesario sustituir los rodamientos de rueda y montar los nuevos con precaución para no deteriorarlos durante el proceso.

5 >> Mantenimiento de la transmisión

5.1 > Árboles de transmisión

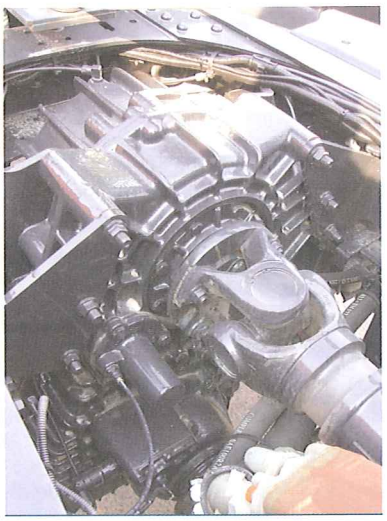
Anomalías

Si se generan vibraciones en el árbol de transmisión, puede deberse a:

- Rodamientos de agujas de la cruceta desgastados. Se han de sustituir los rodamientos.
- Estriado del conjunto eje-manguito desgastado. Debe sustituirse el árbol de transmisión.
- Árbol desequilibrado. Se han de comprobar las fijaciones del árbol de transmisión y el apriete de las uniones roscadas. Si persiste la anomalía, se sustituye el árbol de transmisión.

Si se escuchan ruidos y chasquidos en las juntas universales, lo que puede estar provocado por:

- Falta de lubricación. Se lubrican y, en su caso, se procede a la sustitución de los rodamientos.
- Aflojado de las uniones roscadas. Se da el apriete adecuado.
- Desgaste de los rodamientos de agujas de la junta cardán. Se sustituyen los rodamientos.
- Estriado del conjunto eje-manguito desgastado. Se sustituye el árbol de transmisión.



9.36. Uniones roscadas del árbol de transmisión al grupo diferencial.

Comprobación y verificación

Para realizar un correcto mantenimiento del árbol de transmisión se ha de comprobar lo siguiente:

- Si el conjunto del árbol de transmisión está desgastado o deformado. Esta comprobación se realiza visualmente.
- Si la cruceta o los rodamientos de agujas están desgastados o deformados. En su caso, se sustituye la cruceta, los retenes de aceite, los rodamientos de agujas y los anillos elásticos de retención.
- Si el desgaste se presenta en los orificios de las horquillas (ovalización). En este caso se sustituye el árbol de transmisión completo.
- La holgura radial entre el tramo estriado y el manguito. Para comprobarlo se debe realizar lo siguiente:

  1. Se sujeta el árbol de transmisión por el manguito estriado en un tornillo de banco con la protección adecuada.
  2. Se extrae una parte del tramo estriado de su ubicación en el manguito estriado.
  3. Se fija firmemente sobre la superficie adecuada una base magnética con reloj comparador, de manera que el palpador del reloj comparador esté en contacto con el estriado del eje.
  4. Se comprueba, moviendo el tramo estriado, la holgura radial con respecto al manguito.

  El resultado obtenido no debe ser superior al especificado por el fabricante (aprox. 0,1 mm). Si este valor es superior, se sustituye el árbol completo.

9.37. Cruceta con engrasador y rodamiento de agujas con retén.

Conexión de vástago corto con un tornillo de dilatación

Con el vehículo subido en un elevador, la conexión de vástago corto con un tornillo de dilatación se realiza de la siguiente forma:

1. Se inserta al máximo la junta homocinética exterior en el alojamiento del rodamiento de rueda.
2. Se da un apriete al tornillo del semiárbol de transmisión de 50 Nm.
3. Se coloca la rueda y se baja el vehículo al suelo.
4. Con el vehículo apoyado en el suelo, se da un apriete al tornillo M16 de 190 Nm más un giro adicional de 180°.

Nota: se debe sustituir el tornillo de dilatación siempre que se desmonte.

9.38. Útil para el desmontaje de la copa de las juntas homocinéticas con seguro combinado (en el semiárbol) con alojamiento en el cubo. Implica el desmontaje del semiárbol del vehículo.

5.2 > Semiárboles de transmisión

Las tensiones soportadas por el uso constante y el desgaste que generan los esfuerzos de transmisión del par desde el conjunto diferencial a las ruedas provocan el deterioro de las juntas homocinéticas de los semiárboles de transmisión. Otras causas que pueden dañarlas son el deterioro de los fuelles, el uso de una grasa no especificada o un procedimiento inadecuado en el trabajo de reparación.

Comprobación de la transmisión

Se debe realizar un mantenimiento periódico de los componentes de la transmisión de los vehículos para evitar la aparición de anomalías que puedan provocar el deterioro prematuro de las juntas homocinéticas de los semiárboles.

En el vehículo ha de comprobarse lo siguiente:

- La posible existencia de filtraciones de grasa en la superficie exterior de la transmisión.
- La posible presencia de daños, curvatura o ausencia de algún elemento en los semiárboles de interconexión.
- El estado de los fuelles y abrazaderas se sujeción, verificando, además de su estado general, que no existen roturas, desgastes o porosidad.
- La posible existencia de holgura o desplazamiento excesivo en las juntas deslizantes.
- La posible existencia de holgura o juego radial excesivo en las juntas homocinéticas.
- La posible existencia de bloqueos en las juntas homocinéticas, en las distintas posiciones angulares, provocados, generalmente, por el movimiento de la dirección.

Las comprobaciones que han de llevarse a cabo en los semiárboles, una vez desmontados del vehículo y fijados por el semiárbol de interconexión en un tornillo de banco, con la protección adecuada (mordazas de material blando), son:

- Mover con la mano la junta homocinética fija en todas las posiciones angulares que puede adoptar en el vehículo. El resultado correcto es un movimiento suave y sin existencia de saltos bruscos.
- Comprobar la existencia de holgura radial en las juntas homocinéticas fijas. La holgura no debe ser excesiva.

Diagnosis de anomalías

Para hacer un diagnóstico adecuado de la anomalía existente en los semiárboles de transmisión y las juntas homocinéticas, es necesario realizar una **prueba de conducción.**

Al describir una curva o circulando en recta, se presta atención a la aparición de ruidos del siguiente tipo:

- Chirridos o estridencias, que normalmente son producidos por la excesiva holgura entre la junta homocinética y el semiárbol de interconexión.

– Un golpeteo que se acentúa al girar la dirección en curvas cerradas. Este golpeteo se produce por el resbalamiento de las bolas sobre las pistas desgastadas de la junta homocinética. También puede manifestarse con un ruido intermitente que se localiza en la rueda al circular a poca velocidad o cuando, circulando con una velocidad larga, desaceleramos y volvemos a acelerar rápidamente.

Si aparecen vibraciones en el volante de la dirección o la palanca de cambios, debemos atender a lo siguiente:

– Si al aumentar la velocidad del vehículo se intensifican las vibraciones en el volante. Esto se produce por un juego excesivo en la junta homocinética o por la excentricidad del semiárbol de interconexión.
– Si aparecen vibraciones en la palanca de cambios al realizar una aceleración fuerte en una velocidad corta y al efectuar un giro con la dirección. Esto puede estar provocado por el desgaste en la tulipa de la junta homocinética deslizante en el lado de la caja de cambios.

5.3 > Grasas y fuelles

Grasas

Las juntas homocinéticas, para un funcionamiento adecuado, deben estar lubricadas con la grasa adecuada (cantidad y calidad específicas), que les permite soportar las altas temperaturas y altas presiones. Las grasas estándar o multiusos no son adecuadas para su lubricación. En los kits de sustitución de los fuelles de las juntas homocinéticas está incluida la grasa especificada por el fabricante en la cantidad exacta a utilizar (figura 9.39).

Algunos fabricantes de turismos aconsejan aplicar un determinado tipo de grasa en función del tipo de fuelle utilizado, por ejemplo (Citroën):

– Con el uso de fuelles de neopreno, se recomienda el uso de grasa BERUTOX GGF61, de aspecto áspero y de color beige.
– Con el uso de fuelles termoplásticos, se recomienda el uso de grasa TOTAL N3945, de aspecto seboso y de color gris oscuro.

Todas las grasas utilizadas tienden a descomponerse con el tiempo y el uso, perdiendo su capacidad de lubricación y provocando, al final, averías en la junta homocinética. Es recomendable desmontar, limpiar, comprobar y lubricar con la grasa adecuada las juntas homocinéticas a intervalos de 60 000 km.

Fuelles

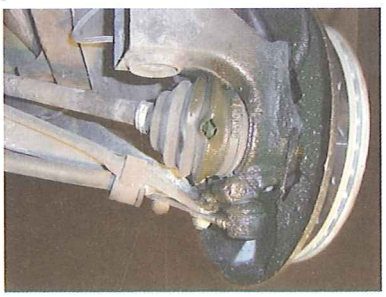
Si los fuelles están rasgados, rajados, pinchados o se ha aflojado la abrazadera de sujeción, puede suceder que la grasa se salga hacia el exterior o que el agua y la suciedad pueden corromperlos, provocando el deterioro prematuro de la junta homocinética. Por ello el mantenimiento periódico de los fuelles es de vital importancia. Ante cualquier signo de deterioro, se deben sustituir inmediatamente.

Los fuelles, con el tiempo y el calor, tienden a ser más frágiles. También pueden sufrir daños ocasionados por los objetos depositados en la calzada.

Disulfuro de molibdeno

Por lo general, los fabricantes de juntas homocinéticas recomiendan tipos de grasa que contiene disulfuro de molibdeno (MoS_2), el cual, además de lubricar, protege de la corrosión.

9.39. Kit de sustitución de un fuelle.



9.40. Rotura del fuelle de una junta homocinética fija.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

1·· Indica los tipos de configuración de la transmisión de movimiento que existen para un vehículo de propulsión.

2·· Describe los componentes de la cadena cinemática de un árbol de transmisión longitudinal.

3·· ¿Qué es un semiárbol de transmisión? ¿Cuáles son los componentes y las funciones de los semiárboles de transmisión?

4·· ¿Cómo se disponen las juntas homocinéticas en un vehículo de tracción delantera?

5·· Describe el funcionamiento de una junta trípode deslizante.

6·· Indica los tipos y características de los fuelles para las juntas de la transmisión.

7·· Describe los componentes y las características del conjunto de un rodamiento de rueda de primera generación. Cita las mejoras que se obtienen al utilizar los rodamientos de rueda de segunda y tercera generación.

8·· ¿Cómo se realiza la comprobación de la holgura radial de un acoplamiento deslizante?

9·· Enumera los tipos de averías que suelen sufrir los semiárboles de transmisión. Describe los métodos de comprobación de cada una de ellas.

10·· Describe el proceso de lubricación que debe realizarse al sustituir un fuelle de una junta homocinética de bolas.

.: APLICACIÓN :.

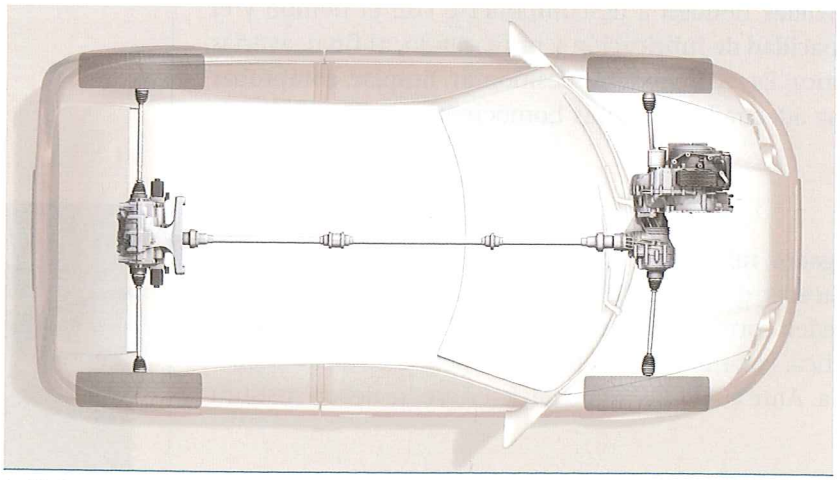
1·· Identifica en un vehículo de tracción delantera disponible en tu aula taller:

a) Los componentes de los semiárboles de transmisión y los tipos de juntas que poseen.
b) El tipo de rodamiento empleado en el cubo de rueda (tren delantero/tren trasero).

2·· Identifica en un vehículo de propulsión disponiblesen tu aula taller:

a) Los elementos de la cadena cinemática del árbol de transmisión.
b) Los componentes de los semiárboles de transmisión y los tipos de juntas que utilizan.

3·· Realiza la comprobación del estado de los semiárboles de transmisión en un vehículo.



9.41. Sistema de transmisión de movimiento de un vehículo con tracción a las cuatro ruedas.

Caso final

Desmontaje y montaje de un rodamiento de rueda de primera generación

•• Un vehículo que ha llegado a nuestro taller necesita la sustitución de uno de sus rodamientos compactos de rueda. Realiza dicha sustitución.

Solución •• Como norma general, para realizar el desmontaje y el montaje de un rodamiento de rueda debemos tener en cuenta las indicaciones del fabricante del vehículo. Además, siempre se deben respetar las normas de seguridad y de limpieza estipuladas.

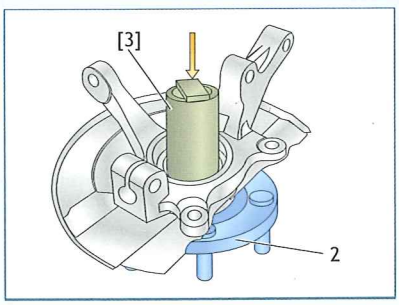
Antes de empezar, debemos desmontar la mangueta del vehículo según las especificaciones del fabricante.

Para desmontar el rodamiento de rueda, seguimos estos pasos:

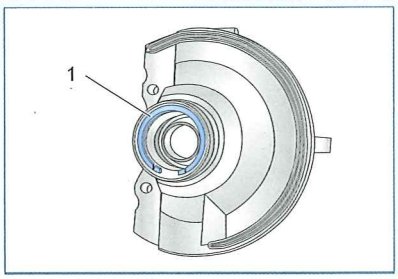
1. Extraemos el cubo de rueda (2) usando la prensa hidráulica y el útil apropiado [3] (figura 9.42). Posicionamos correctamente la mangueta sobre la prensa, para evitar que pueda dañarse.
2. Retiramos el anillo de retención exterior (1) del rodamiento, situado en el lado de la rueda, con unos alicates de punta adecuados (figura 9.43).
3. Posicionamos los útiles [4] y [6] (figura 9.44) y, con la prensa hidráulica, extraemos el rodamiento (7).

Para montar el nuevo rodamiento de rueda procedemos de la siguiente forma:

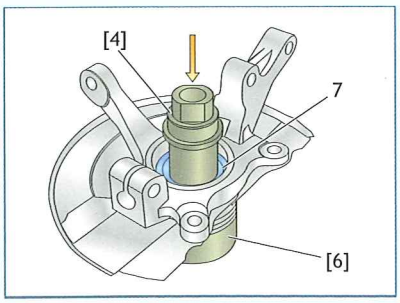
1. Utilizamos un rodamiento y un anillo de retención nuevos. Lubricamos con aceite el rodamiento y su alojamiento en la mangueta. Los componentes deben estar limpios y exentos de golpes o desgaste anormal.
2. Posicionamos y montamos el rodamiento con la cara magnetizada (sensores activos de velocidad de rueda) orientada hacia el lado del semiárbol de transmisión.
3. Con la ayuda de los útiles [5] y [6] montamos el rodamiento (7) en su alojamiento de la mangueta hasta que haga tope, con ayuda de la prensa hidráulica (figura 9.45).
4. Montamos el anillo de retención nuevo (1) en su alojamiento (figura 9.43).
5. Con el útil [4] montamos el cubo de rueda (2) en la mangueta hasta su tope, con ayuda de la prensa hidráulica (figura 9.46).



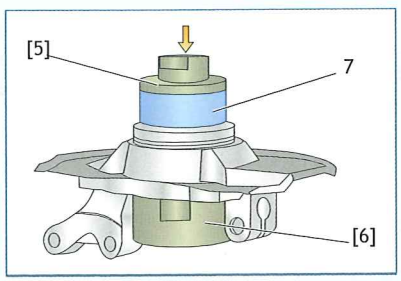
9.42. Extracción del cubo de rueda.



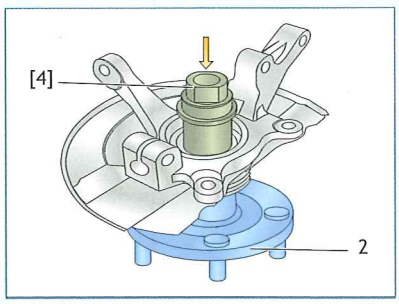
9.43. Anillo de retención exterior del rodamiento en el lado de rueda.



9.44. Extracción del rodamiento.

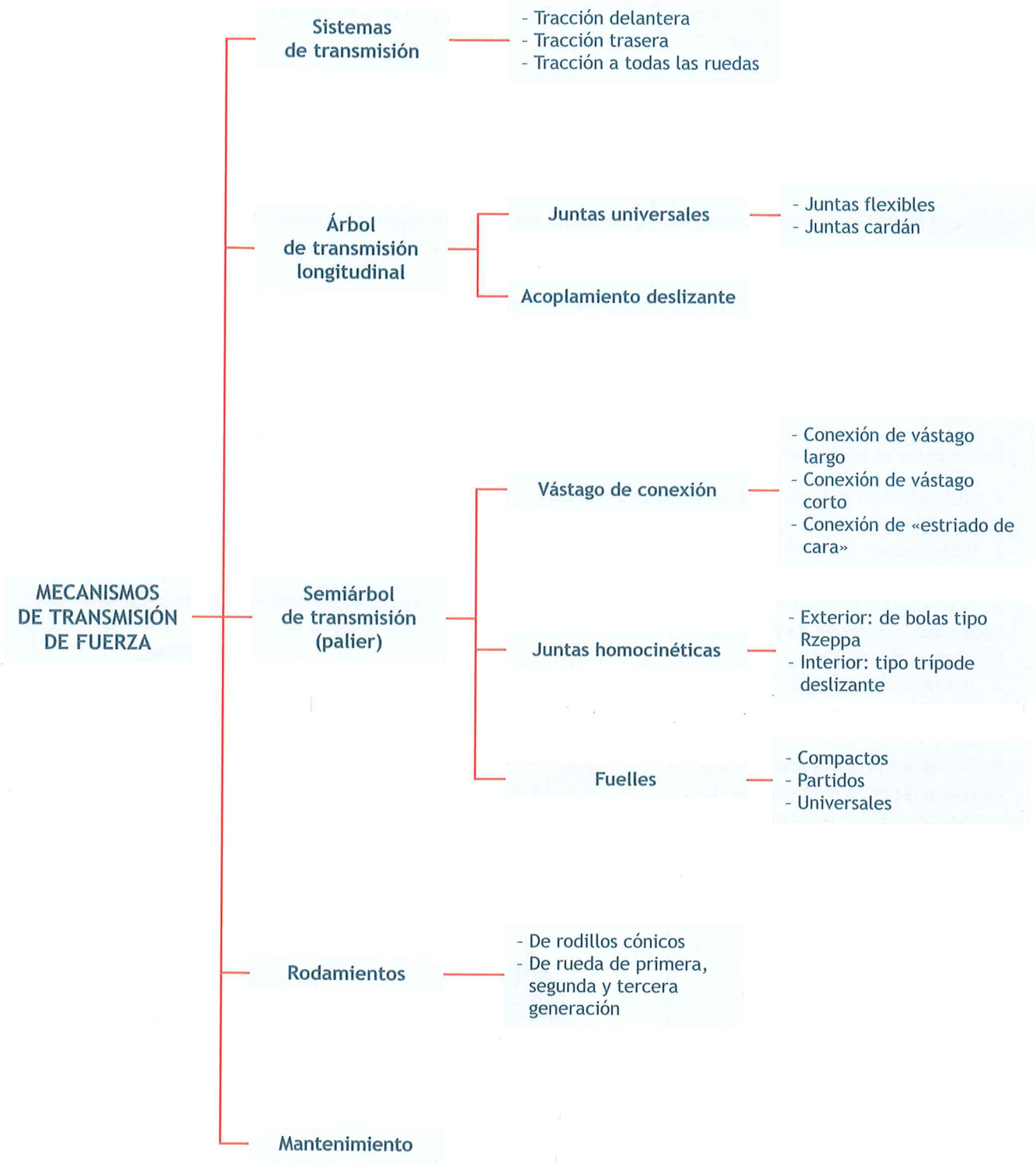


9.45. Montaje del rodamiento en la mangueta.



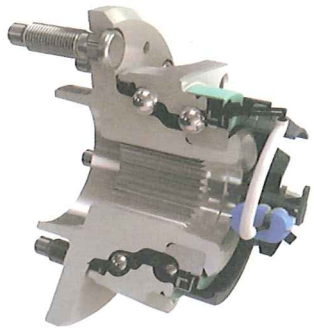
9.46. Montaje del cubo de rueda.

Ideas clave


MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE FUERZA
Sistemas de transmisión
- Tracción delantera
- Tracción trasera
- Tracción a todas las ruedas
Árbol de transmisión longitudinal
Juntas universales
- Juntas flexibles
- Juntas cardán
Acoplamiento deslizante
Semiárbol de transmisión (palier)
Vástago de conexión
- Conexión de vástago largo
- Conexión de vástago corto
- Conexión de «estriado de cara»
Juntas homocinéticas
- Exterior: de bolas tipo Rzeppa
- Interior: tipo trípode deslizante
Fuelles
- Compactos
- Partidos
- Universales
Rodamientos
- De rodillos cónicos
- De rueda de primera, segunda y tercera generación
Mantenimiento

Nueva generación de elementos de la transmisión

X-Tracker: una nueva línea de unidades de cubo de rueda robustas



Rodamiento de cubo X-Tracker.

Recientemente SKF ha introducido una nueva línea de rodamientos de cubo de rueda llamada X-Tracker. Estos rodamientos están diseñados para desarrollar un alto rendimiento en respuesta a la creciente utilización de camiones ligeros a modo de robustos vehículos deportivos familiares.

La línea X-Tracker de SKF consiste en un rodamiento de bolas de doble hilera con contacto angular, en el que la hilera de la cara exterior tiene un diámetro mayor y contiene un número de bolas más elevado que la hilera de la cara interior. Este diseño único aumenta la capacidad del rodamiento y mejora la rigidez del cubo en un 50% en comparación con una unidad convencional de rodillos cónicos.

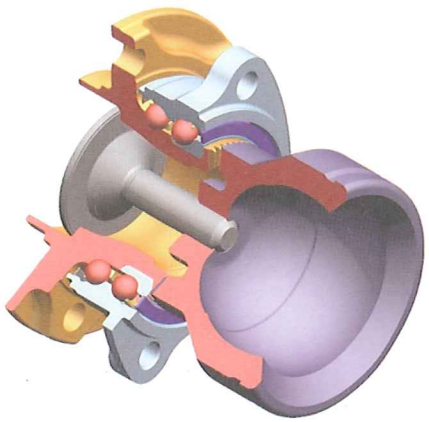
Los beneficios que aporta un cubo más rígido son estos:

- Permite que las ruedas mantengan una mayor verticalidad en las curvas y durante las aceleraciones.
- Reduce la deflexión de la cara del cubo y de la rueda, proporcionando así mayor control de la dirección, mejor maniobrabilidad y mayor estabilidad en el compartimento dinámico del vehículo.
- Mejora tanto las características RCV (ruido/vibración/control) como el rendimiento del rodamiento.

Face Spline Connection

GKN Driveline, en cooperación con un fabricante de rodamientos, ha desarrollado y puesto en marcha una nueva tecnología de interfaz para conectar el semiárbol a la unidad de rodamiento de la rueda.

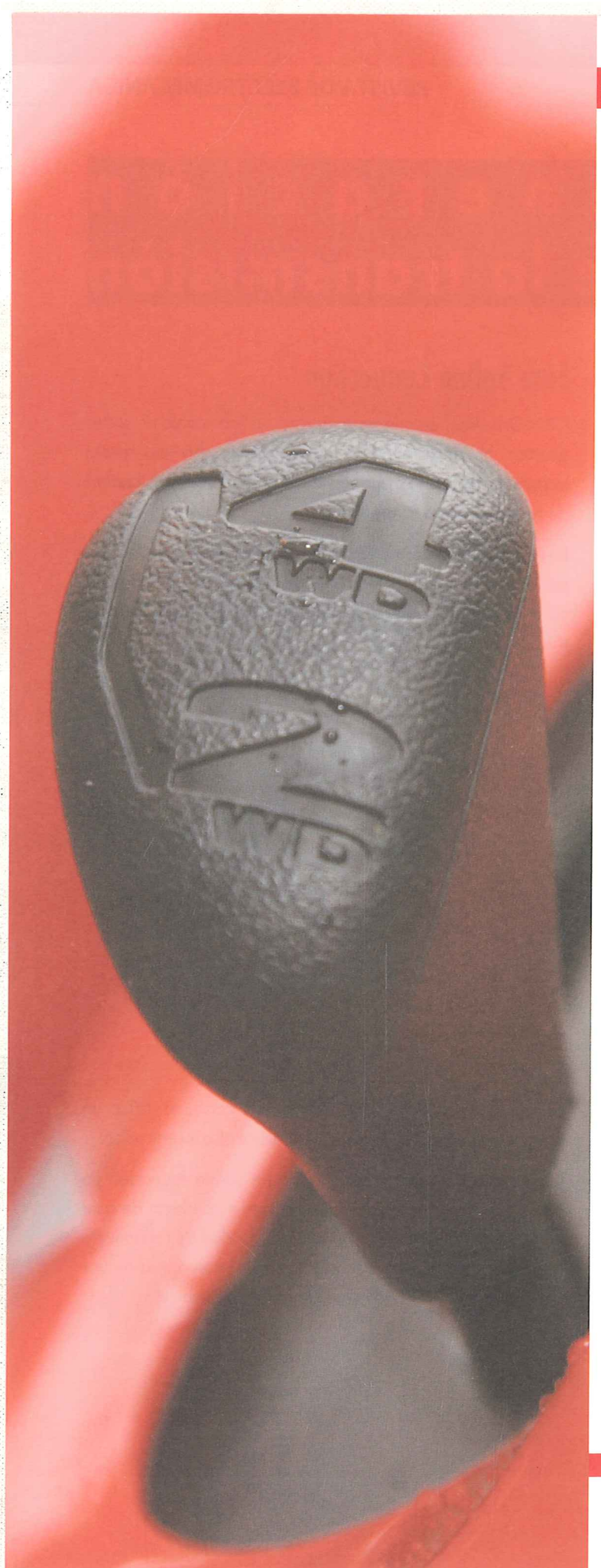
En esta solución el estriado radial tradicional es reemplazado por estriados axiales situados en la cara de la junta fija y la cara de la unidad de rodamiento del cubo de rueda («estriado de cara»).



Face Spline Connection.

Al igual que en la solución de vástago corto, se utiliza un perno de tensión para fijar el semiárbol al concentrador.

Las ventajas de esta nueva tecnología son la reducción de peso, una mayor capacidad de torque, nulo efecto de contragolpe (*backlash*), mejor NVH, modularidad de rodamiento y combinaciones de los semiárboles, así como una mayor flexibilidad en las líneas de ensamblaje de vehículo.



unidad 10

Sistemas de tracción 4x4

SUMARIO

- Sistemas de tracción 4x4 insertables
- Cajas de transferencia
- Sistemas de tracción 4x4 de conexión automática
- Sistemas de tracción 4x4 permanentes
- Diferenciales centrales

OBJETIVOS

- Entender el funcionamiento y las necesidades de los sistemas de tracción 4x4.
- Distinguir los distintos sistemas de tracción 4x4.
- Conocer las cajas de transferencia 4x4 más utilizadas.
- Comprender el funcionamiento de los diferenciales centrales y conocer sus diferencias y similitudes respecto a los diferenciales convencionales.

1 >> Sistemas de tracción a las cuatro ruedas (4WD)

Un vehículo con tracción a las cuatro ruedas (4WD) se caracteriza porque el par de giro producido en el motor se distribuye a las cuatro ruedas y, en consecuencia, en todas ellas se genera una fuerza de tracción.

Para transmitir el movimiento desde la caja de cambios a las cuatro ruedas es necesario disponer de varios elementos: dos árboles de transmisión y dos diferenciales (delanteros y traseros), además de un diferencial central en los vehículos con tracción total permanente.

Como se explicó en la Unidad 1, en las ruedas propulsoras intervienen un par de fuerzas que producen el desplazamiento del vehículo. Estas dos fuerzas son de igual magnitud y dependen del par motor aplicado y del radio de la rueda.

Por otro lado, en los vehículos de cuatro ruedas motrices, el par motor se aplica a todas las ruedas, de modo que la fuerza ejercida en cada una de ellas es de menor magnitud que en el caso de los vehículos de dos ruedas motrices.

Las ventajas que presentan los sistemas 4WD son las siguientes:

- Mejor tracción sobre todas las superficies, especialmente en terrenos con mala adherencia, como asfalto mojado, nieve, arena, etc.
- Mayor capacidad para subir pendientes pronunciadas.
- Mejor comportamiento frente al *aquaplaning*.
- Mejor trazado de las curvas dado el comportamiento neutro que presentan estos sistemas, pues se anula la tendencia al subviraje de los vehículos de tracción delantera y al sobreviraje de los vehículos de tracción trasera.

10.1. Sistema de tracción a las cuatro ruedas (4WD).

Las principales desventajas de los vehículos con tracción 4WD son su mayor precio, el aumento del peso del vehículo, el incremento del consumo de combustible y su mayor complejidad en la regulación de los sistemas antibloqueo de los frenos.

Los sistemas empleados para la tracción total se pueden clasificar en dos grandes grupos:

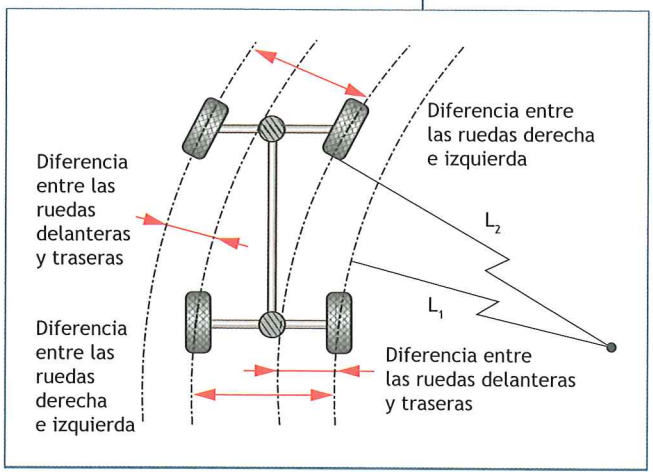
- **Tracción 4x4 insertable:** los vehículos funcionan con tracción a dos ruedas, generalmente las traseras, y el eje delantero se conecta para conseguir la tracción a las cuatro ruedas cuando el conductor lo determina.
- **Tracción 4x4 conectable automáticamente:** los vehículos poseen dos ruedas motrices y la tracción al otro eje se conecta automáticamente en función de las condiciones de la marcha, es decir, sin que el conductor tenga que intervenir.
- **Tracción 4x4 permanente:** los vehículos siempre funcionan con tracción a las cuatro ruedas.

WD

La sigla WD proviene de las palabras inglesas *wheels drive* (ruedas motrices). Por tanto, el significado de otras siglas que la contienen es el siguiente:

- 2WD: dos ruedas motrices
- 4WD:cuatro ruedas motrices
- AWD: todas las ruedas motrices *(all wheels drive)*.

1.1 > Comportamiento en curvas



10.2. Trayectorias en curva de las cuatro ruedas del vehículo.

Cuando el par motor se distribuye por igual a los dos ejes motrices de un vehículo, las cuatro ruedas giran a la misma velocidad, al igual que los dos ejes motrices.

Esto no representa ningún problema cuando el vehículo avanza en línea recta, pero, cuando el vehículo toma una curva, todas las ruedas giran a distinta velocidad debido a que cada una está situada a una determinada distancia del centro de giro: las ruedas exteriores giran más deprisa, seguidas por la rueda interior delantera, y la rueda interior trasera es la que gira más lentamente (figura 10.2).

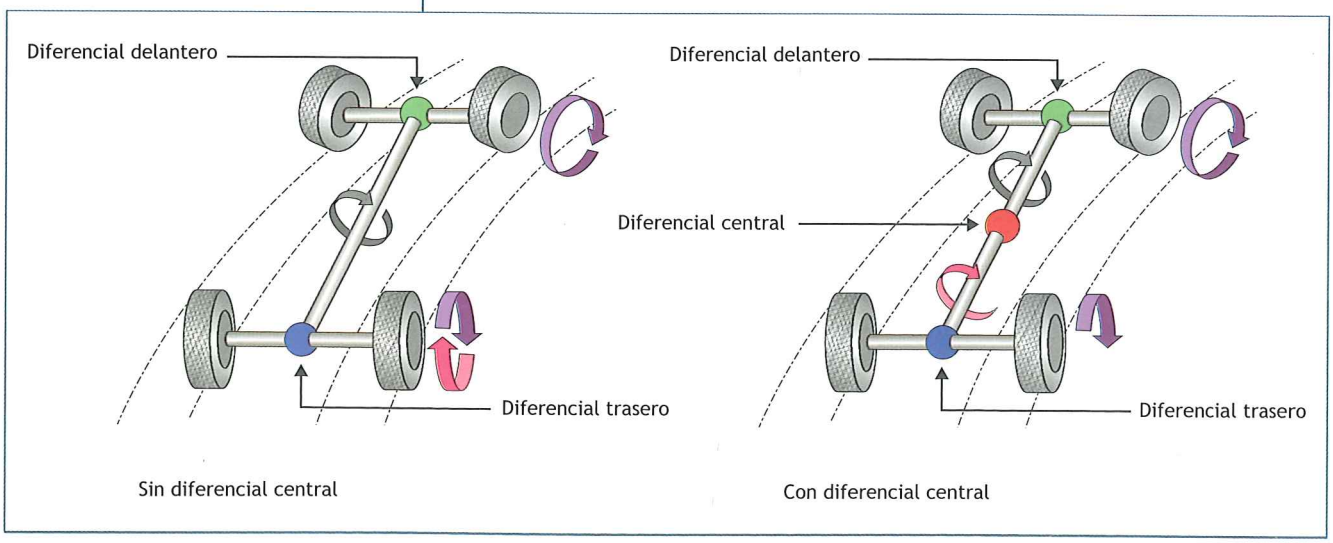
Dado que el eje delantero gira más deprisa que el trasero al tomar las curvas, su movimiento de impulsión es distinto, lo que hace que a las ruedas que tienen que ir más despacio les cueste más deslizarse sobre el pavimento. Esto provoca que el neumático se caliente y que los elementos de transmisión realicen grandes esfuerzos que pueden producir daños. El problema, además, se incrementa a medida que aumenta la velocidad del vehículo y la capacidad de adherencia del pavimento.

Para evitar este inconveniente, los vehículos con tracción total permanente a las cuatro ruedas disponen de un diferencial central que se encarga de compensar las diferencias de velocidad de giro de las ruedas al tiempo que les proporciona el mismo par de giro.

Por tanto, la diferencia constructiva más importante entre los dos sistemas de tracción total es que el permanente posee un dispositivo diferencial extra, el diferencial central, mientras que los sistemas insertables solamente tienen dos diferenciales, uno en cada uno de los dos ejes con tracción.

En superficies con poca adherencia

La trayectoria en curva de los sistemas con tracción 4WD sin diferencial central sobre superficies con poca adherencia no requiere grandes esfuerzos del sistema de transmisión, por lo que, en estas circunstancias, dichos diferenciales no son necesarios.



10.3. Necesidad del diferencial central.

2 >> Sistemas de tracción 4x4 insertables

Los sistemas de tracción 4x4 insertables permiten que el vehículo circule con dos o cuatro ruedas motrices. Cuando la tracción a las cuatro ruedas está insertada, el par motor se distribuye por igual entre los dos ejes del vehículo, ya que no disponen de diferencial central.

Estos sistemas presentan varias opciones de circulación:

- Posición 2WD: circulación con dos ruedas motrices.
- Posición 4WD: circulación con las cuatro ruedas motrices.
- Posiciones L y H: hacen referencia a las marchas cortas *(low)* y largas *(high)*. La marcha corta se suele utilizar con la opción 4WD (4L).

La posición 2WD se utiliza para circular por terrenos con buena adherencia y la 4WD en terrenos con escasa adherencia, ya que, cuando se activan las cuatro ruedas motrices, los dos ejes del vehículo están conectados con el mismo régimen de giro sin disponer de un diferencial central que les permita girar a distinta velocidad en las curvas.

Los sistemas insertables pueden ser accionados manualmente mediante palancas o automáticamente mediante motores eléctricos.

El elemento encargado de seleccionar las distintas opciones de tracción es la **caja de transferencia**, que recibe el giro del motor desde el cambio de velocidades y actúa como mecanismo reductor y repartidor del giro:

- La reducción de giro se realiza mediante parejas de engranajes en toma constante o mediante un engranaje epicicloidal.
- La transmisión de movimiento desde el eje de entrada a los dos ejes de salida se realiza mediante ejes intermedios con engranajes o mediante una cadena.

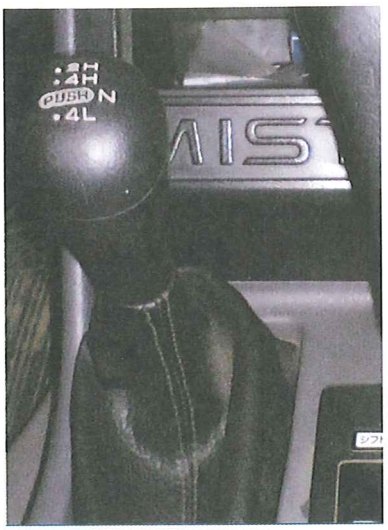
2.1 > Caja de transferencia con reductora mediante trenes de engranajes

Las cajas de transferencia mediante trenes de engranajes van situadas a continuación del cambio de velocidades. Están constituidas por una serie de engranajes cilíndricos de dentado helicoidal en toma constante entre sí y colocados en tres ejes:

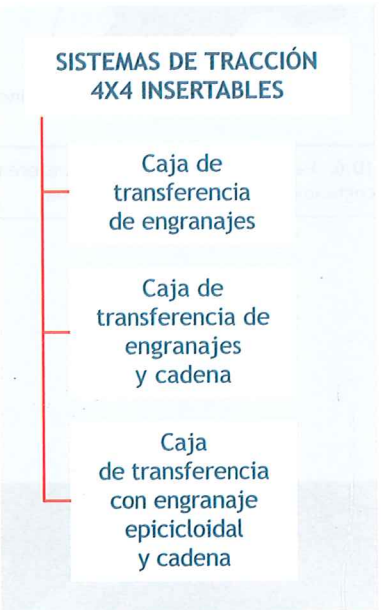
- El primer eje es el de entrada que va acanalado y engrana con el eje de salida del cambio de velocidades.
- El eje intermediario es donde van colocados dos piñones para conseguir la reducción de velocidad (marchas cortas y largas).
- El eje de salida (eje principal) dividido a su vez en dos desde donde se envía el movimiento a los ejes delantero y trasero.

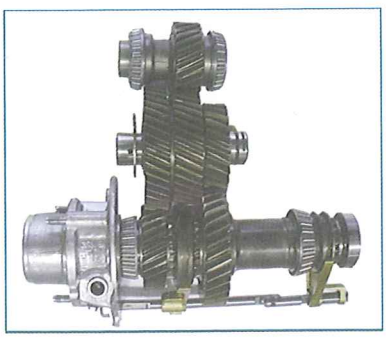
Sobre el eje de salida van colocados dos manguitos de sincronización:

- Uno conecta entre sí los dos ejes que forman el eje de salida para obtener la tracción a las cuatro ruedas (4WD).
- El otro se encarga de conectar los piñones con los ejes para reducir la velocidad (4L).



10.4. Palanca de cambios con accionamiento del sistema 4WD.

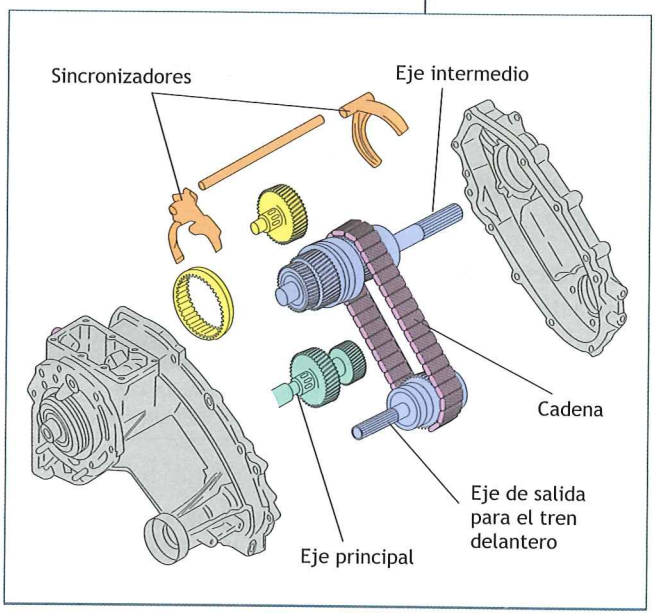




10.5. Caja de transferencia con reductora mediante trenes de engranajes.

2.2 > Caja de transferencia con reductora mediante engranajes y transmisión por cadena

Esta caja de transferencia también dispone de las posiciones 2H, 4H y 4L. Para activar estas posiciones, utiliza parejas de engranajes en toma constante.



10.6. Partes de una caja de transferencia con reductora mediante engranajes y transmisión por cadena.

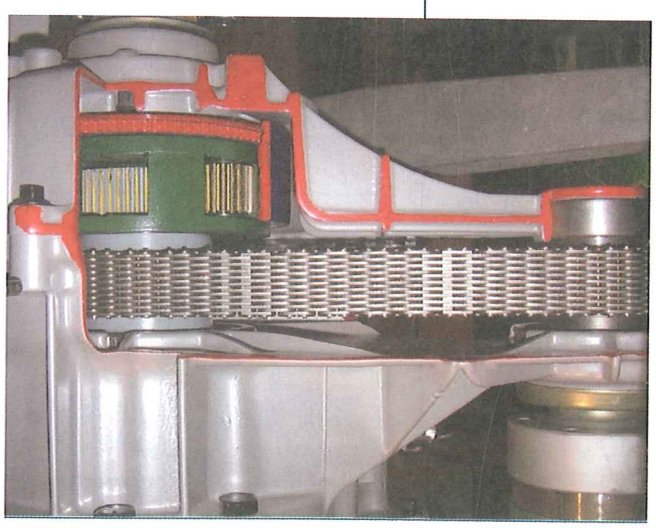
Esta caja de transferencia consta de los siguientes elementos:

- Eje principal, sobre el cual va colocado el engranaje de entrada de forma flotante. Este eje es el encargado de la transmisión del movimiento al tren trasero.
- Eje intermedio, dotado de dos engranajes que engranan en toma constante con los colocados sobre el eje principal.
- Eje de salida para el tren delantero.
- Cadena encargada de transmitir el movimiento del eje trasero al eje delantero.
- Dos mecanismos de sincronización encargados de enclavar los engranajes en los ejes correspondientes para conseguir las distintas posiciones.

La posición H se consigue desplazando el sincronizador para que el movimiento pase al tren delantero directamente desde el cambio y la posición L, mediante las dos parejas de engranajes.

La posición 4WD se obtiene desplazando el sincronizador que solidariza el piñón conductor de la cadena con el eje de salida de movimiento del tren trasero.

2.3 > Caja de transferencia con reductora de tipo epicicloidal y transmisión por cadena



10.7. Caja de transferencia con reductora de tipo epicicloidal y transmisión por cadena.

En las cajas de transferencia con reductora de tipo epicicloidal y transmisión por cadena, la reducción se consigue mediante un engranaje epicicloidal.

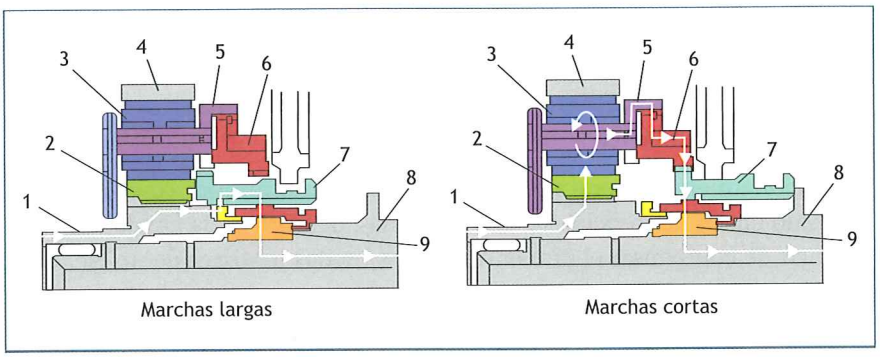
Sus componentes principales son:

- Tren epicicloidal encargado de conseguir las marchas cortas (L). Su planetario es solidario al eje de entrada, el eje portasatélites es solidario al eje de salida para el tren trasero y la corona está inmóvil por hallarse unida rígidamente a la carcasa (figura 10.8).
- Ejes de entrada y de salida para el tren trasero y delantero.
- Cadena de transmisión.
- Elementos sincronizadores para seleccionar las marchas cortas y largas y la tracción 4WD.
- Bomba de aceite para lubricar la caja de transferencia.

Para obtener la tracción 4WD, el piñón conductor de la cadena se hace solidario al eje de salida del tren trasero que transmite el movimiento, mediante la cadena, al eje de salida del tren delantero.

Las posiciones reductoras se consiguen de la forma descrita a continuación (figura 10.9):

- Posición de marchas largas (H): tanto en tracción a dos ruedas (2H) como a las cuatro (4H), el movimiento pasa directamente del eje de entrada al eje de salida por la acción del sincronizador.
- Posición de marchas cortas (L): el movimiento se transmite desde el eje de entrada al eje de salida principal por medio del engranaje epicicloidal. El planetario, solidario al eje de entrada, transmite el giro a los satélites, que se desplazan sobre la corona inmóvil produciendo la desmultiplicación de movimiento en su eje, que ahora está unido por medio del sincronizador al eje de salida principal.



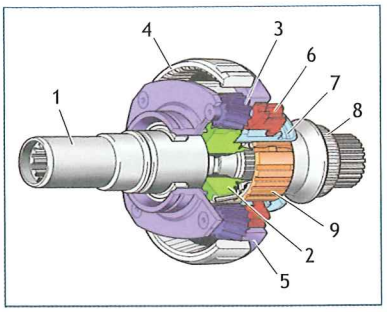
10.9. Recorrido del par a través del engranaje epicicloidal en las marchas reductoras.

Para seleccionar las posiciones 2H ó 4H, el vehículo puede estar avanzando a una velocidad de hasta 80-90 km/h, pero para seleccionar la posición L el vehículo ha de estar parado.

2.4 > Otros sistemas de activación de la tracción 4x4

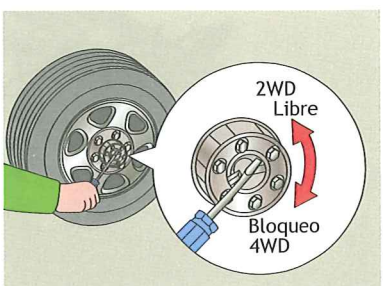
En los vehículos todoterreno pueden aparecer dos sistemas similares a los anteriormente estudiados, pero con algunos elementos complementarios:

- **Cubos de rueda:** la caja de transferencia transmite el movimiento al tren delantero y la rueda se une al diferencial delantero por medio de un embrague conectable de forma manual o automática, el llamado cubo de rueda. Cuando este se coloca en la posición de bloqueo, el movimiento se transmite a las ruedas delanteras y la tracción es 4WD.
- **Diferencial delantero conectable:** consiste en conectar el diferencial delantero a los palieres que transmiten el movimiento a las ruedas delanteras. La caja de transferencia siempre impulsa al diferencial delantero pero este solamente transmite el giro a los palieres cuando se conecta la tracción 4WD. Este sistema permite la conexión de la tracción 4WD con el vehículo en movimiento hasta una determinada velocidad, ya que dispone de un mecanismo de sincronización para iniciar la rotación del sistema de impulsión colocado en uno de los palieres.



10.8. Componentes de la reductora de tipo epicicloidal.

1. Eje de entrada
2. Planetario
3. Satélite
4. Corona
5. Eje portasatélites
6. Estriado solidario al eje portasatélites
7. Manguito sincronizador
8. Salida al tren trasero
9. Cubo estriado de cortas y largas



10.10. Accionamiento del cubo de rueda.

3 >> Sistemas de tracción 4x4 conectables automáticamente

Los sistemas de transmisión 4x4 conectables automáticamente funcionan con dos ruedas motrices, pero, en determinadas condiciones, pasan a funcionar con las cuatro ruedas motrices sin que el conductor tenga que intervenir.

Estos sistemas hacen que, en condiciones normales, el vehículo funcione con dos ruedas motrices, con las ventajas de consumo que ello supone, y que, cuando el terreno presenta menor adherencia, lo haga con la tracción total, conectada automáticamente para mejorar el agarre.

Los sistemas de tracción 4x4 conectables automáticamente se basan, fundamentalmente, en la utilización de embragues multidisco y de los sistemas de acoplamiento viscoso.

Los embragues multidisco pueden accionarse de distintas formas. Los más utilizados son los de accionamiento hidráulico y electromagnético, cuyo mando de accionamiento es de tipo mecánico o electrónico.

3.1 > Sistema de acoplamiento multidisco accionado hidráulicamente

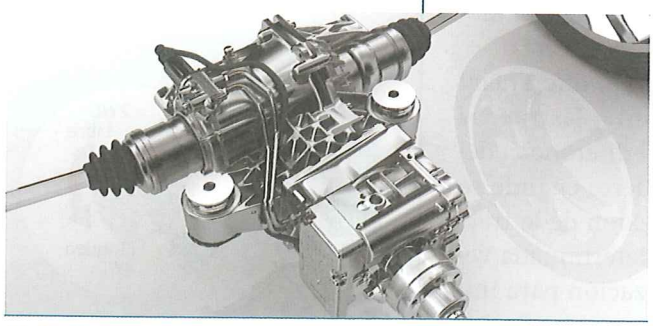
El funcionamiento de este sistema de acoplamiento multidisco es similar al utilizado en los diferenciales convencionales, descrito en la Unidad 8, pero, en lugar de compensar el giro entre las dos ruedas motrices de un eje, compensa el giro de los dos ejes.

La presión de apriete que se ejerce sobre los discos de embrague se realiza por medios hidráulicos y la diferencia entre los distintos sistemas consiste básicamente en cómo se comanda esta presión aplicada sobre el émbolo de compresión de los discos del embrague.

La ventaja de estos acoplamientos es que el reparto de par entre los dos trenes del vehículo se puede realizar cuándo y cómo se quiera, sin que tenga que existir deslizamiento de uno de los trenes. En función de cómo se comande este acoplamiento, mecánica o electrónicamente, se logrará un mejor y más rápido reparto del par entre los trenes del vehículo.

Uno de los principales sistemas que funcionan según este tipo de acoplamiento multidisco es el embrague Haldex.

Sistema de acoplamiento multidisco Haldex

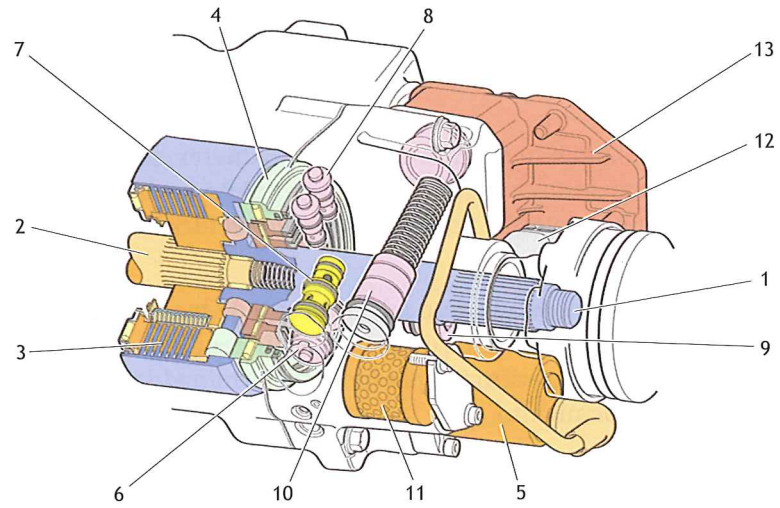


10.11. Sistema de acoplamiento multidisco Haldex.

Este sistema se encarga, en función del tipo de conducción, de transmitir el par a las ruedas traseras de una forma totalmente automática, ya que funciona electrónicamente.

Está conectado con la carcasa del diferencial trasero y recibe el movimiento de la caja de reenvío de la transmisión delantera. El eje de entrada al acoplamiento constituye la carcasa portadiscos exterior y los discos de fricción interiores engranan con el árbol del piñón de accionamiento de la corona del diferencial.

Dentro del acoplamiento, y apoyadas sobre el portadiscos de su eje de salida, se encuentran dos bombas axiales que se accionan mediante las levas construidas sobre el plato portadiscos. Estas bombas generan presión cuando el régimen de entrada es distinto al régimen de salida y, cuando esto ocurre, el émbolo anular de la bomba se desplaza por la leva.



1. Árbol de entrada
2. Árbol de salida
3. Conjunto multidisco
4. Émbolo de accionamiento
5. Bomba hidráulica
6. Válvula de aspiración
7. Válvula reguladora
8. Válvula de descarga
9. Válvula limitadora
10. Acumulador
11. Filtro
12. Conexión CAN bus
13. Unidad de control

10.12. Partes del sistema de acoplamiento multidisco Haldex.

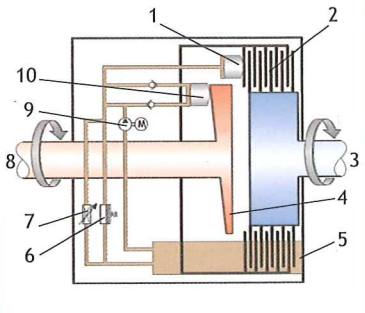
La presión generada por las bombas se transmite a unos émbolos colocados de forma flotante sobre la carcasa portadiscos exterior. Cuanto mayor presión se aplique sobre estos émbolos, mayores serán el apriete que realicen sobre los discos y el par transmitido al eje trasero.

La presión aplicada en los émbolos está controlada mediante una válvula reguladora accionada eléctricamente por la unidad central de mando (UCE) del sistema Haldex, desde la posición abierta hasta la posición cerrada, para conseguir los distintos estados de actuación del sistema. Estos estados de actuación se determinan mediante la información suministrada por los sensores y la programación almacenada en la UCE.

Completa el sistema una bomba de precarga, accionada eléctricamente, que se encarga de generar la presión mínima necesaria para que los discos de apriete se apoyen sobre los discos de fricción. Esta bomba funciona con el contacto encendido y cuando el motor del vehículo gira a unas determinadas revoluciones.

Esto permite remolcar el vehículo con el tren delantero elevado y el motor parado. Una válvula de seguridad desactiva el acoplamiento si se produce un aumento elevado de presión, para que no se produzcan daños en el sistema.

Los sistemas de acoplamiento multidisco actuales tienden a suprimir las bombas accionadas mecánicamente por diferencia de giro entre los dos trenes del vehículo por bombas accionadas eléctricamente. De este modo se consigue mayor capacidad y rapidez de transmisión del par entre los dos trenes del vehículo.



1. Émbolo de trabajo
2. Conjunto multidisco
3. Salida
4. Disco de leva
5. Carga de aceite
6. Válvula reguladora
7. Válvula de seguridad
8. Entrada
9. Bomba de precarga
10. 2 bombas de émbolo anular conectadas en paralelo

10.13. Funcionamiento del embrague Haldex.

3.2 > Sistema de acoplamiento multidisco con accionamiento electromagnético

Estos sistemas son muy similares a los accionados hidráulicamente. Únicamente se diferencian en que en estos el accionamiento del émbolo de compresión de los discos se realiza con medios electromagnéticos.

Los sistemas de acoplamiento multidisco con accionamiento electromagnético posibilitan una distribución rápida del par motor entre los ejes delantero y trasero para adaptarse a cualquier estado de la conducción del vehículo.

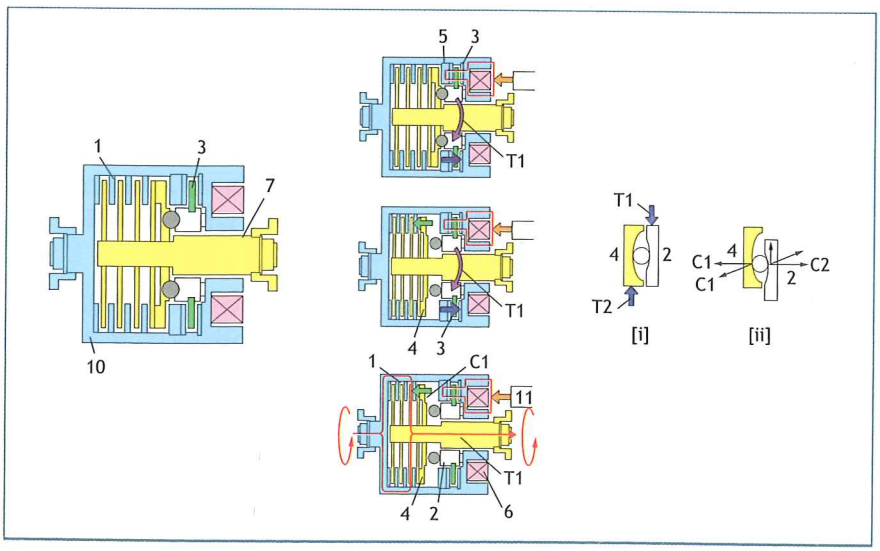
Este tipo de acoplamiento puede ir conectado al diferencial trasero, opción que se utiliza mayoritariamente en vehículos todoterreno, o al diferencial delantero, opción empleada, por ejemplo, en los vehículos deportivos con motor trasero.

Dispone de un eje de entrada, que sale de la caja de reenvío del cambio de velocidades, y de un eje de salida conectado al diferencial del tren delantero o trasero, al cual le transmitirá el par motor determinado por el apriete de los discos del acoplamiento.

Funcionamiento

La gestión electrónica del acoplamiento determina, en función de la información suministrada por los sensores y los datos almacenados en la memoria, el par que ha de transmitirse al tren trasero.

La UCE del sistema alimenta eléctricamente la bobina que hay en el interior del acoplamiento y esta corriente genera un campo magnético que atrae con una determinada fuerza una placa con rebajes radiales, llamada embrague de control, donde van colocadas unas bolas. Al mismo tiempo que este embrague de control se acerca a la bobina, gira un determinado ángulo, lo que provoca que las bolas se desplacen hacia el exterior del rebaje y empujen el disco de apriete.



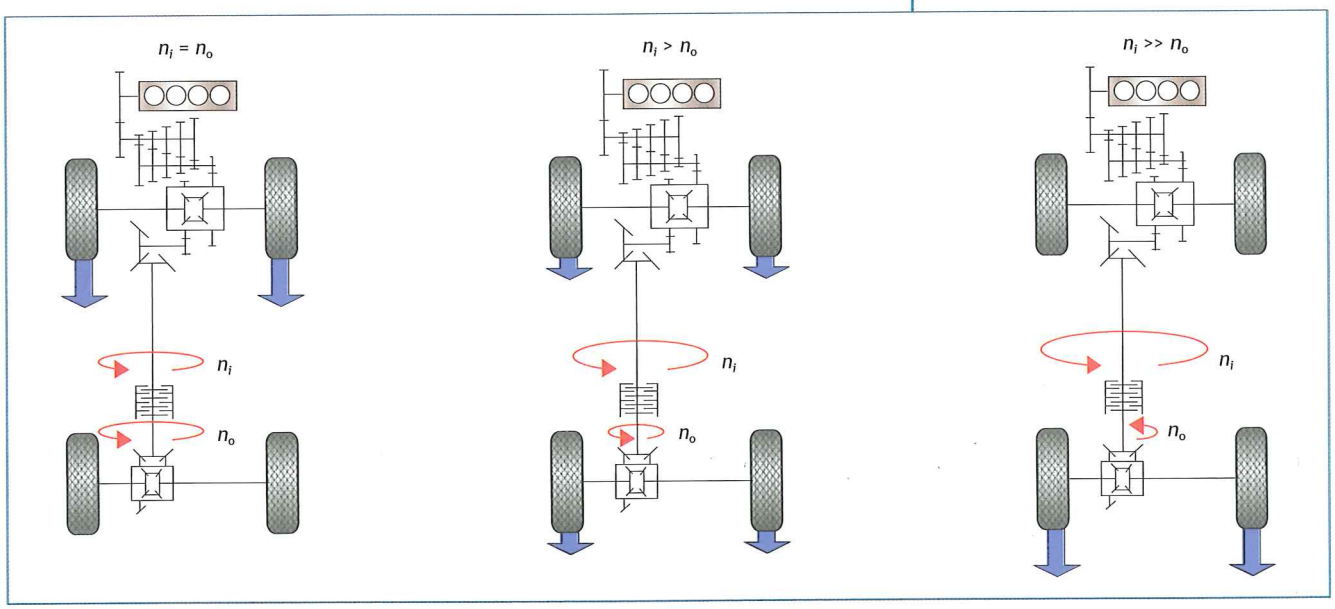
10.14. Fases de funcionamiento de un sistema de acoplamiento multidisco con accionamiento electromagnético.

El desplazamiento del disco produce la unión por fricción de los discos conductores, solidarios a la carcasa exterior del acoplamiento, con los discos conducidos, solidarios al eje de accionamiento del diferencial posterior. Cuanto mayor apriete exista entre los discos, mayor será la adherencia de los discos entre sí, lo que producirá a su vez que se transmita un mayor par al tren conectable del vehículo.

La intensidad de la corriente que circula por la bobina del acoplamiento dependerá del par que se vaya a transmitir por el mismo; cuanta mayor intensidad de corriente haya, mayor será el par transmitido por el acoplamiento multidisco.

3.3 > Sistema de acoplamiento viscoso

El sistema de acoplamiento viscoso actúa repartiendo el par entre los trenes delantero y trasero cuando detecta diferentes velocidades de giro entre ellos. A medida que aumenta la diferencia de giro entre el tren con tracción y el que se acopla, mayor par transmite el sistema a este último.



10.15. Transmisión de par en el acoplamiento viscoso en función de la diferencia de régimen de giro entre los ejes.

El funcionamiento de este sistema es similar al que se utiliza en los diferenciales (descrito en la Unidad 8). Sin embargo, en lugar de compensar el giro entre las dos ruedas motrices de un eje, en este caso se compensa el giro de los ejes.

La ventaja fundamental de este tipo de acoplamiento es que funciona de forma autónoma al detectar el deslizamiento de uno de los trenes del vehículo. No obstante, presenta importantes desventajas que han llegado a reducir su uso como diferencial central.

Una de las desventajas más destacadas es que, para que comience a funcionar, tiene que producirse el deslizamiento. Otra gran desventaja consiste en que, si este deslizamiento se mantiene durante mucho tiempo, el aceite se degrada y da lugar al deterioro del acoplamiento.

4 >> Sistemas de tracción 4x4 permanente

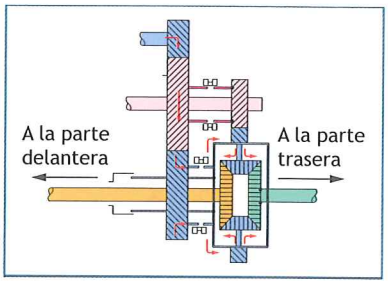
Para conseguir que en las curvas no se produzcan arrastres indebidos en los elementos de la transmisión, los sistemas de tracción permanente a las cuatro ruedas incorporan un diferencial central que absorbe la diferencia de velocidad de rotación de las ruedas delanteras y traseras que se produce cuando el vehículo toma una curva.

Los engranajes que se utilizan como diferencial central son el engranaje cónico, el engranaje epicicloidal y el engranaje tipo torsen.

Los diferenciales centrales presentan el mismo inconveniente que los diferenciales convencionales descritos en la Unidad 8: si una rueda patina, todo el par del vehículo puede perderse por ella y este quedar inmovilizado. Para evitarlo, estos mecanismos poseen dispositivos de bloqueo del diferencial que hacen que el par motor se transmita siempre a todas las ruedas del vehículo. Estos sistemas de bloqueo son similares a los de los diferenciales convencionales, pues cuentan con enclavamiento mecánico, acoplamiento viscoso y embrague de discos múltiples accionados hidráulica o eléctricamente.

Reparto de par entre ejes

Los porcentajes de par que otorgan los diferenciales centrales a cada eje se suelen escribir separados por una barra y sin el símbolo «%», de tal forma que el primero indica el eje delantero y el segundo el trasero. Por ejemplo, 40/60 indica que el 40% del par va al eje delantero y el 60% al trasero.



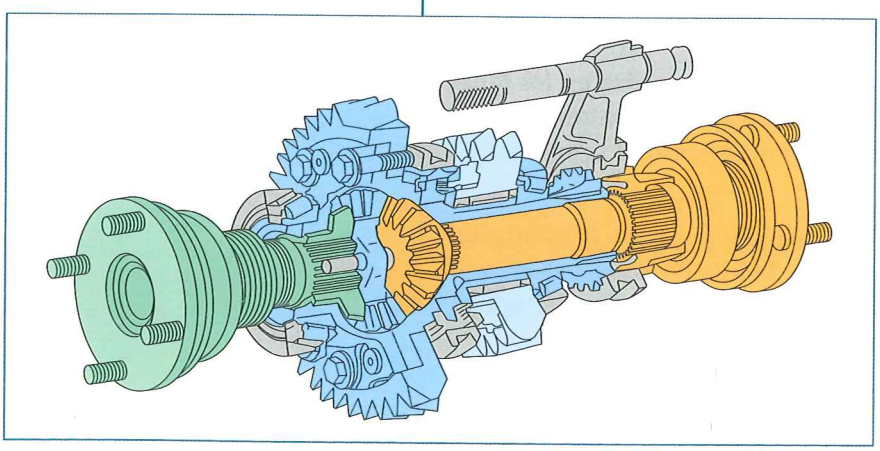
10.16. Recorrido del par en un diferencial central de engranaje cónico.

4.1 > Diferencial central de engranaje cónico

Este diferencial central es, básicamente, un diferencial convencional donde un planetario transmite el movimiento al diferencial delantero y el otro al diferencial trasero, permitiendo que estos giren a distintas velocidades. Su distribución de par entre los ejes es de 50/50.

Puede presentar una corona o, directamente, constar simplemente de la carcasa donde van colocados de forma flotante los planetarios solidarios a ella y los satélites con sus ejes.

Estos diferenciales pueden recibir el movimiento del cambio de velocidades: directamente desde el eje de salida del cambio por medio de engranajes reductores utilizados en la caja de transferencia, por medio de una cadena, etc. Pueden utilizar como dispositivos de bloqueo el enclavamiento mecánico, el acoplamiento viscoso o el embrague de discos múltiples.



10.17. Diferencial central de engranaje cónico con dispositivo de bloqueo mediante acoplamiento viscoso entre los dos ejes de salida de la caja de transferencia.

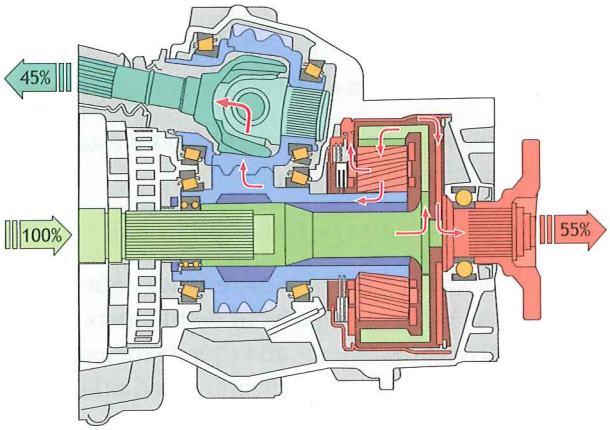
Su funcionamiento es similar al de un diferencial convencional:

- **Desplazamiento en línea recta:** las ruedas delanteras y traseras giran a la misma velocidad y los satélites del diferencial central no giran sobre sus ejes.
- **Desplazamiento en curvas:** la velocidad de las ruedas delanteras y traseras es diferente y, para compensarlas, los satélites giran sobre sus ejes produciendo las distintas velocidades de giro de los dos ejes del vehículo.

4.2 > Diferencial central de engranaje epicicloidal o planetario

El diferencial central de engranaje epicicloidal distribuye el par motor al eje delantero y trasero de forma asimétrica, es decir, concede más par a un eje que a otro. La proporción de par que envía a cada eje depende del tipo de vehículo.

El movimiento procedente de la caja de cambios llega, directamente o mediante engranajes reductores, al engranaje epicicloidal, normalmente a su corona, y se transmite al tren delantero por su planetario y al tren trasero por su eje portasatélites.

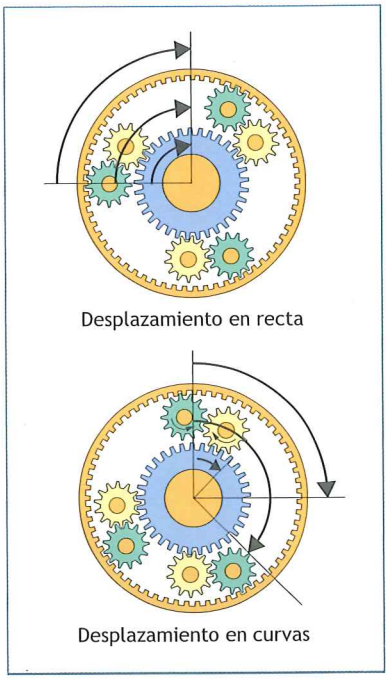


10.18. Recorrido y distribución del par en un diferencial central de engranaje epicicloidal.

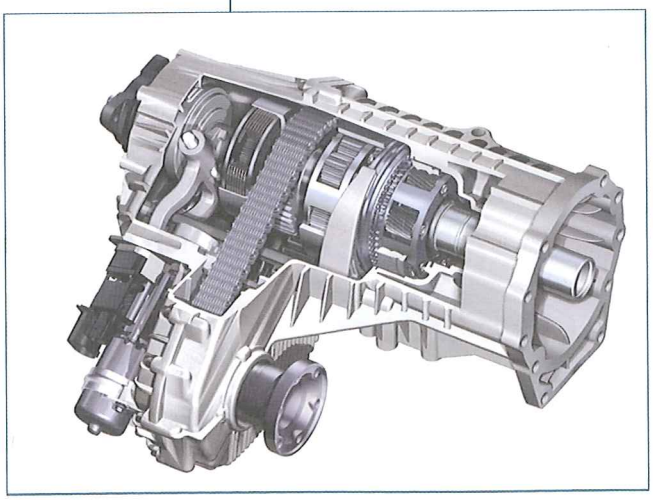
El funcionamiento de este diferencial es el siguiente (figura 10.19):

- **Desplazamiento en línea recta:** los ejes delantero y trasero circulan a la misma velocidad, por lo que sus ejes de accionamiento giran también a la misma velocidad. Consecuentemente, los elementos que componen el engranaje planetario giran en la misma dirección como un bloque, es decir, a la misma velocidad.
- **Desplazamiento en curvas:** las ruedas delanteras giran a distinta velocidad que las traseras, lo que da lugar a que en el engranaje epicicloidal se produzca un giro relativo entre el planetario y el eje portasatélites. Este giro relativo se debe a que los satélites giran sobre el planetario y la corona produciendo un aumento o disminución de revoluciones entre el eje portasatélites y el planetario, ya que la suma de las velocidades del eje portasatélites y del planetario siempre ha de ser igual al doble de la velocidad de la corona de accionamiento.

En este sistema, el bloqueo del diferencial une en el giro a la corona y al planetario del engranaje epicicloidal, igualando así el giro de los ejes de accionamiento de los trenes delantero y trasero. Los mecanismos utilizados para ello son similares a los utilizados en los diferenciales del engranaje cónico.



10.19. Funcionamiento del engranaje epicicloidal de un diferencial central.



10.20. Conjunto de transferencia de tipo epicicloidal con una repartición de par inicial de 38/62 y un embrague de discos múltiples accionado por un motor eléctrico como mecanismo de bloqueo.

4.3 > Diferencial central autoblocante tipo torsen

Los diferenciales centrales tipo torsen son similares a los descritos en la Unidad 8, con la única diferencia de que estos se encargan de distribuir el par motor a los dos ejes del vehículo en vez de a las dos ruedas de un eje. Además, al ser autoblocantes, no necesitan ningún mecanismo de bloqueo del diferencial.

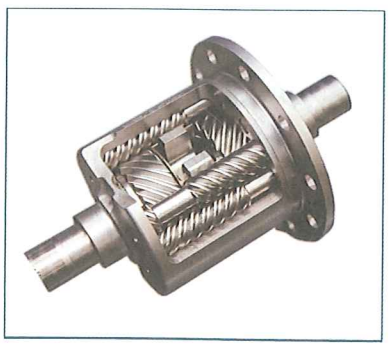
Sus grandes ventajas respecto a otros sistemas de tracción 4x4 son su rapidez de actuación y el hecho de que son sistemas puramente mecánicos. Además son compatibles con los sistemas antibloqueo de frenos y con los sistemas de control de tracción.

Esta característica proporciona a su vez importantes ventajas:

- El tiempo de respuesta en caso de deslizamiento es inmediato.
- Posee una gran capacidad de direccionabilidad y estabilidad, ya que el vehículo dispone siempre de tracción.
- Es compatible con los sistemas de frenos ABS y ESP.

Como se explica en la Unidad 8, las características que definen este tipo de diferenciales son su TBR y su capacidad de bloqueo, lo que da lugar a varios tipos constructivos diferentes. Cada tipo de torsen presenta sus propias ventajas y desventajas para ser utilizado como diferencial central en los vehículos de tracción 4x4 permanente.

10.21. Diferencial central torsen tipo A (T-1).



10.22. Diferencial central torsen tipo B (T-2).

Torsen tipo A (T-1)

En este tipo de diferencial central torsen el reparto de par es de 50/50 cuando las ruedas delanteras y traseras presentan la misma adherencia. Si existen distintos coeficientes de adherencia, el par transmitido por cada eje es el determinado por el TBR del torsen, utilizándose normalmente diferenciales de TBR de 2,5:1 a 3,5:1.

Torsen tipo B (T-2)

En este tipo de diferencial central torsen el reparto de par entre los dos ejes del vehículo es de 50/50. Si existen distintos coeficientes de adherencia en las ruedas, el par transmitido por cada eje es el determinado por el TBR del torsen, utilizándose normalmente diferenciales de TBR de 1,5:1 a 2,5:1.

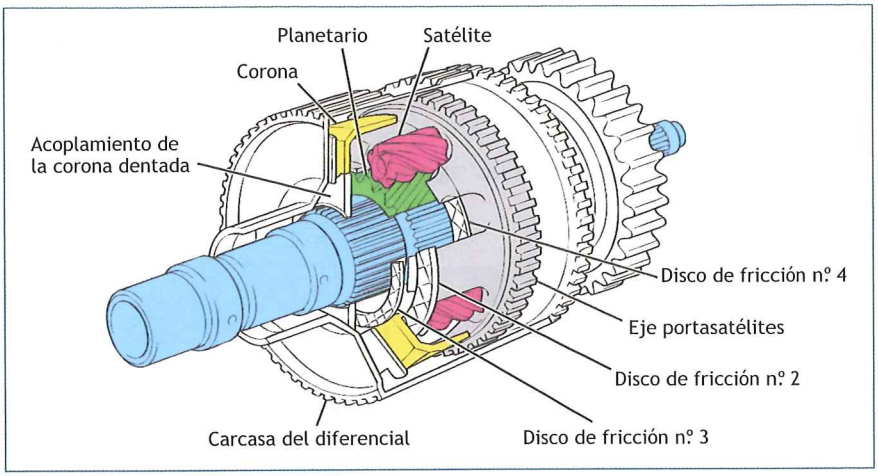
Torsen tipo C (T-3)

Este tipo de torsen presenta una diferencia importante respecto a los anteriores: el reparto de pares asimétrico del orden de 42/58 y el eje que mayor par recibe es el trasero.

Este diferencial presenta los siguientes elementos:

- **Carcasa del diferencial**, que soporta el resto de los elementos y de la que estos reciben el movimiento.
- Un único **planetario**, conectado al eje de salida para el tren delantero.
- **Corona**, conectada al eje de salida para el tren trasero.

- Un **eje portasatélites** solidario con la carcasa.
- **Ocho satélites** con dentado helicoidal, colocados longitudinalmente sobre el eje portasatélites y que engranan con el planetario y con la corona.
- **Discos de fricción** situados entre los elementos anteriores y la carcasa. Son los encargados de distribuir el par de giro a los ejes motrices del vehículo y de compensar las diferencias de velocidad que se producen entre ellos al tomar una curva.



10.23. Partes de un diferencial Torsen tipo C (T-3).

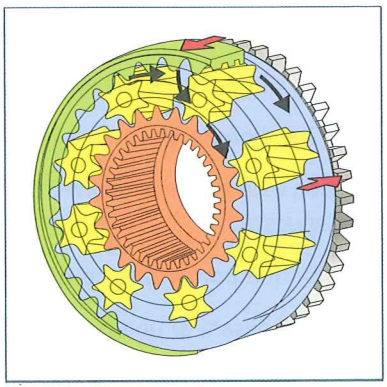
Cuando el vehículo se desplaza con una trayectoria rectilínea, los satélites no giran sobre su eje, por lo que el par de giro se transmite por igual a cada uno de los ejes.

Al tomar una curva sin deslizamiento de ninguna rueda, los satélites ruedan para distribuir el par de tracción proporcionalmente a la velocidad de los ejes motrices. Cuando la velocidad del eje delantero del vehículo supera a la del trasero, proceso habitual al tomar una curva, el planetario girará más deprisa que la corona.

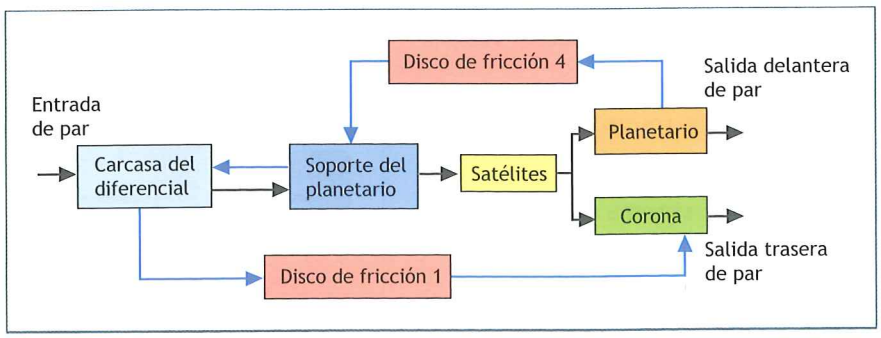
Como se indica en la figura 10.25, la forma helicoidal de los dientes de los engranajes provoca que el planetario empuje el disco de fricción 4, que transfiere el par de tracción al portasatélites y a la carcasa del diferencial. Los satélites ejercen una pequeña fuerza sobre la corona, empujándola contra el disco de fricción 1 y la carcasa. Un par adicional es transmitido a través del disco de fricción 1 a la corona y al eje trasero del vehículo.

Cuando el eje delantero gira más deprisa que el trasero, el planetario y la corona crean un empuje que produce la transferencia de par al eje con más tracción.

Cuando la velocidad del eje trasero supera a la del delantero, el planetario dirige una gran cantidad de fuerza de empuje contra el otro disco de fricción, que frena al portasatélites y la carcasa. De este modo, se transfiere el par al eje delantero.



10.24. Fuerzas que aparecen en un diferencial torsen tipo C (T-3) cuando el vehículo circula en curva.

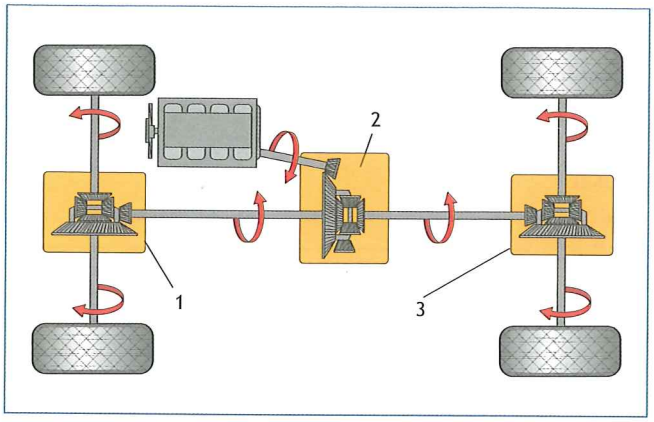


10.25. Esquema del comportamiento de un diferencial torsen tipo C (T-3) en curva.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

Dada la figura 10.26 contesta a las siguientes cuestiones:



10.26. Sistema de transmisión.

1·· Pon el nombre a los elementos enumerados de la figura.

2·· ¿Qué tipo de tracción a las cuatro ruedas presenta este vehículo? Razona tu respuesta.

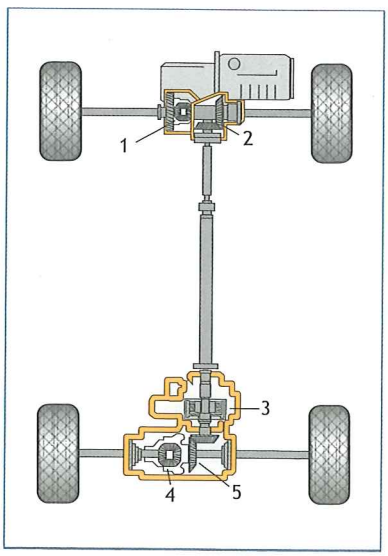
3·· Con este mecanismo 4WD las ruedas del vehículo, al tomar una curva, ¿girarán a las mismas revoluciones? Razona tu respuesta.

4·· ¿En qué porcentaje se distribuye el par motor a los dos ejes del vehículo?

5·· ¿Qué pasará si una rueda del eje delantero y otra del eje trasero se quedan bloqueadas? Razona tu respuesta.

6·· Si este vehículo montara un mecanismo de bloqueo del diferencial central, ¿cómo girarían las ruedas al tomar una curva cuando se accionase este bloqueo?

Dada la figura 10.27 contesta a las siguientes cuestiones:



10.27. Sistema de transmisión.

7·· Pon nombre a todos los elementos enumerados que componen este sistema de tracción a las cuatro ruedas.

8·· Este sistema muestra un vehículo con tracción permanente en uno de sus ejes, ¿cuál es este eje?

9·· Este sistema de tracción 4WD es un sistema conectable automáticamente. ¿Qué elemento se encarga de producir la conexión a las cuatro ruedas? Razona tu respuesta.

10·· ¿En función de qué parámetros se conectará la tracción a las cuatro ruedas?

11·· ¿Qué función realiza el elemento número 2 en el sistema de transmisión? ¿Por qué tienen forma cónica el piñón conductor y el conducido?

12·· ¿Qué función realiza el elemento número 5 en el sistema de transmisión? ¿Por qué tienen forma cónica el piñón conductor y el conducido?

Caso final

Desmontaje del diferencial central tipo torsen A

•• En un vehículo que tenemos en el taller se han detectado ruidos que pueden provenir del diferencial central, de tipo torsen A. Es necesario, por tanto, desmontarlo para su comprobación.

Solución •• Una vez desmontada la caja de cambios del vehículo, procedemos al desmontaje de la caja de transferencia, que contiene el diferencial central torsen y los piñones que transmiten el movimiento desde la salida del cambio automático hasta la carcasa del diferencial. Para ello debemos desatornillar una serie de tornillos (figura 10.28).

10.28. Desatornillado para la extracción de la caja de transferencia.

10.29. Caja de transferencia extraída de la caja de cambios.

10.30. Diferencial torsen en la caja de transferencia.

Una vez desmontada la caja de transferencia (figura 10.29), pasamos a desmontar la brida de arrastre para el eje trasero y a quitar los tornillos, separando posteriormente la tapa de la caja de transferencia para acceder al diferencial (figura 10.30).

La carcasa del diferencial torsen tiene en el extremo anterior un estriado que engrana con el piñón de accionamiento y, en el otro extremo, el rodamiento que lo apoya sobre la carcasa de la caja de transferencia.

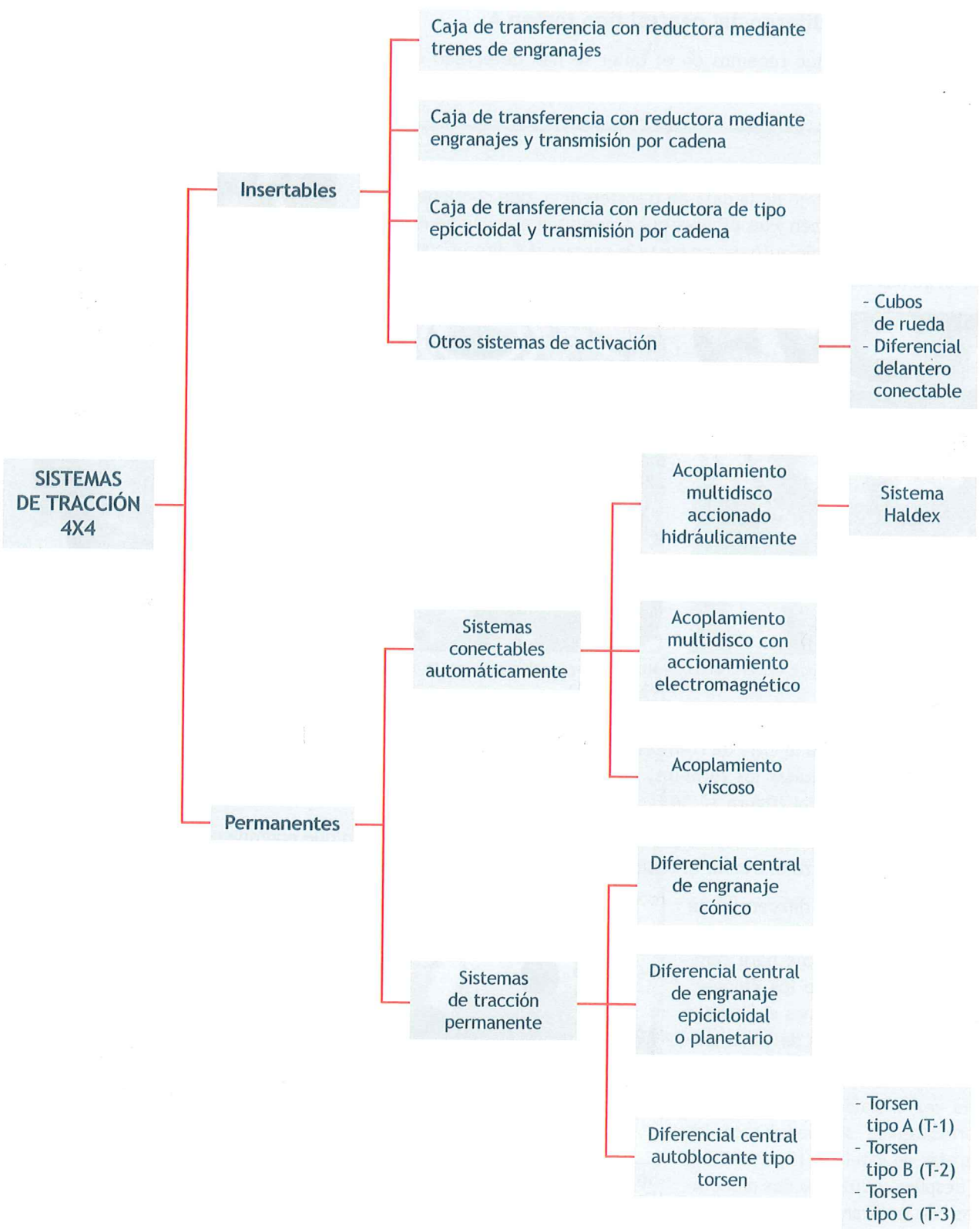
Una vez extraído el diferencial de la caja de transferencia, vamos a realizar su desmontaje para comprobar el estado de los piñones. Para ello, desplazamos el pasador que retiene los ejes de los satélites (figura 10.31).

Una vez extraídos los ejes de los portasatélites, se pueden sacar las parejas de satélites (figura 10.32) y, después, quitar los dos planetarios con las arandelas de fricción.

10.31. Pasador que retiene los ejes portasatélites.

10.32. Extracción de los satélites.

Ideas clave


SISTEMAS DE TRACCIÓN 4X4
Insertables
Caja de transferencia con reductora mediante trenes de engranajes
Caja de transferencia con reductora mediante engranajes y transmisión por cadena
Caja de transferencia con reductora de tipo epicicloidal y transmisión por cadena
Otros sistemas de activación
- Cubos de rueda
- Diferencial delantero conectable
Permanentes
Sistemas conectables automáticamente
Acoplamiento multidisco accionado hidráulicamente
Sistema Haldex
Acoplamiento multidisco con accionamiento electromagnético
Acoplamiento viscoso
Sistemas de tracción permanente
Diferencial central de engranaje cónico
Diferencial central de engranaje epicicloidal o planetario
Diferencial central autoblocante tipo torsen
- Torsen tipo A (T-1)
- Torsen tipo B (T-2)
- Torsen tipo C (T-3)

VEHÍCULOS DOTADOS DE TRACCIÓN A LAS CUATRO RUEDAS

Sistema de tracción total	Vehículo	Posición del motor	Eje con tracción	Diferencial delantero	Diferencial trasero
Transfer de engranajes	Iveco Daily Suzuki Samurai	Longitudinal	Trasero	Convencional	Convencional
Transfer de cadena y reductora de engranajes	Suzuki Vitara Nissan Patrol	Longitudinal	Trasero	Convencional	Convencional
Transfer de cadena y reductora epicicloidal		Longitudinal	Trasero	Convencional	Convencional
Transfer de cadena 4x4 por diferencial delantero conectable	Kia Sorento Toyota 4 runner Mitsubishi l200	Longitudinal	Trasero	Convencional	Convencional
Acoplamiento viscoso	Porsche Carrera 4 Panda 4x4	Longitudinal Transversal	Trasero Delantero	Convencional	Convencional
Embrague multidisco accionado hidráulicamente	Volvo XC 90 VW Golf 4 motion	Transversal	Delantero	Convencional	Convencional
Embrague multidisco accionado electromagnéticamente	Nissan Gasqai Suzuki Gran Vitara	Transversal	Delantero	Convencional	Convencional
Diferencial central epicicloidal con reductora y bloqueo de discos accionado eléctricamente	Porsche Cayenne VW Touareg	Longitudinal	4WD permanente	Convencional	Bloqueable de discos
Diferencial central epicicloidal	Mercedes 4matic	Longitudinal	4WD permanente	Convencional	Convencional
Diferencial central torsen tipo A	Audi A4 Quattro	Longitudinal	4WD permanente	Convencional	Convencional
Diferencial central torsen tipo B	Audi A6 Allroad Quattro	Longitudinal	4WD permanente	Convencional	Convencional
Diferencial central torsen tipo C	Alfa 156 Crosswagon Q4	Transversal	4WD permanente	Convencional	Convencional
Diferencial central epicicloidal 45/55	Mercedes GLK-Class	Longitudinal	Tracción total permanente	Convencional	Convencional

unidad 11

El sistema de frenos I

SUMARIO

- Teoría del proceso de frenado
- Elementos fundamentales del freno de servicio de accionamiento hidráulico
- Frenos de disco y de tambor
- El freno de estacionamiento

OBJETIVOS

- Comprender los principios teóricos del proceso de frenado.
- Conocer los elementos fundamentales del sistema de frenos y su funcionamiento.

1 >> Sistema de frenos

El sistema de frenos está formado por un conjunto de elementos cuya función es disminuir gradualmente la velocidad del vehículo, hacer que se detenga o mantenerlo inmovilizado si ya está parado.

Para cumplir su función, el sistema de frenos de los vehículos está formado por las siguientes secciones:

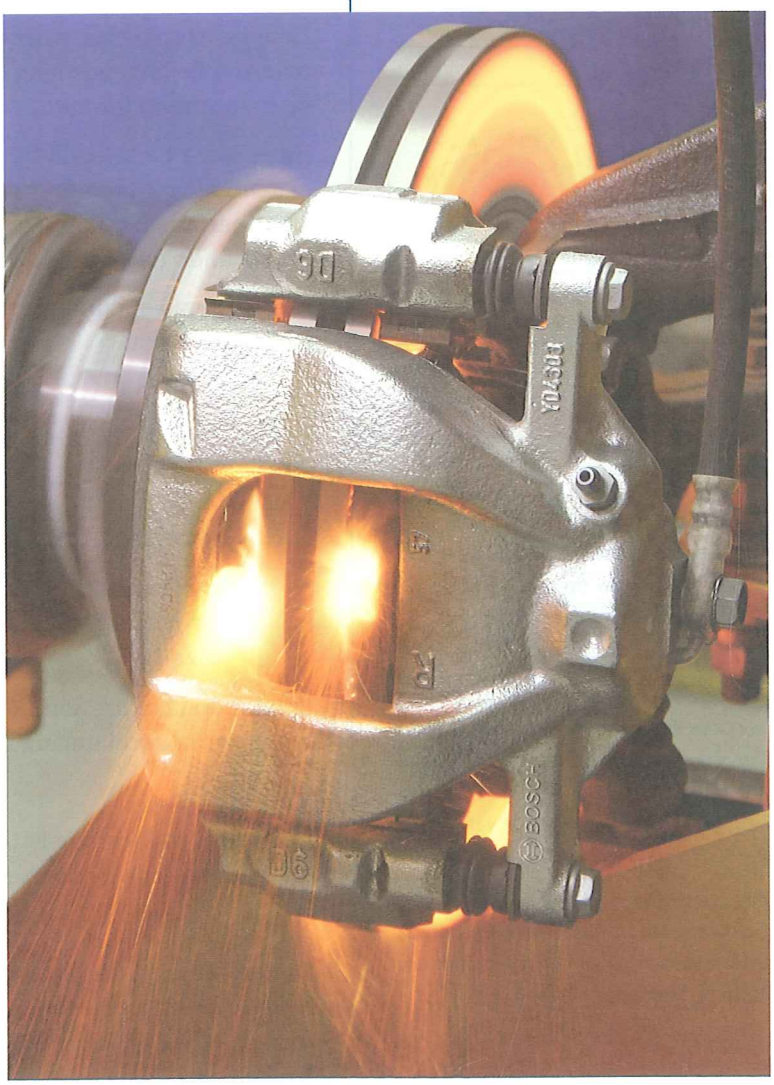
- **Freno de servicio:** permite al conductor controlar el movimiento del vehículo y detenerlo de una forma segura, rápida y eficaz, cualesquiera que sean las condiciones de velocidad y de carga o el tipo de pendiente, ascendente o descendente, en la que pueda encontrarse el vehículo. El freno de servicio debe actuar de forma moderada y sobre todas las ruedas.
- **Freno de estacionamiento:** permite mantener el vehículo inmóvil en una pendiente ascendente o descendente, incluso en ausencia del conductor. Para ello los elementos activos se quedan en posición de apriete por medio de un dispositivo de acción puramente mecánica. Actúa generalmente sobre las ruedas traseras.
- **Freno de socorro:** permite detener el vehículo en una distancia razonable cuando falla el freno de servicio. Actúa de forma moderada y al menos sobre una rueda de cada lado del plano longitudinal medio del vehículo.

Los frenos son los elementos mecánicos que reducen la velocidad, transformando la energía cinética del vehículo en calor mediante el rozamiento entre distintas partes mecánicas (figura 11.1).

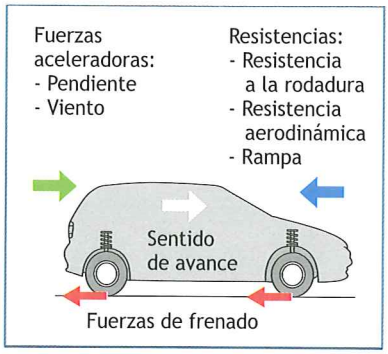
Los dos tipos de frenos que se utilizan en los vehículos automóviles son:

- **Frenos de tambor:** la frenada se produce mediante el rozamiento de dos zapatas con un tambor cilíndrico solidario a la rueda.
- **Frenos de disco:** la frenada se produce mediante el rozamiento de dos pastillas con un disco solidario a la rueda.

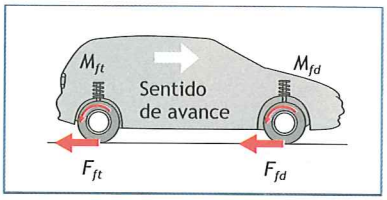
El sistema de frenos es controlado por el conductor, que lo acciona aplicando una determinada fuerza al pedal del freno o a la palanca del freno de estacionamiento. Esta fuerza es transmitida por el sistema de mando a los frenos para que se activen, generando una fuerza de frenado proporcional a la ejercida por el conductor.



11.1. Freno de disco realizando una frenada, convirtiendo la energía cinética en calor.



11.2. Fuerzas que intervienen sobre el vehículo.



11.3. Pares generados en las ruedas por intervención del freno de servicio.

Magnitudes

Peso adherente (*P*): es el peso de la rueda sobre la calzada. Equivale al producto de la masa (*m*) del vehículo por la aceleración de la gravedad (*g*):

$$P = m \cdot g$$

Coeficiente de rozamiento (μ): expresa la oposición al movimiento que ofrecen las superficies en contacto del neumático y la calzada. Depende de la naturaleza de la calzada. Su valor varía entre 0 y 1.

Adherencia (*A*): es la resistencia que se produce entre las superficies en contacto de la calzada y el neumático cuando uno trata de deslizarse sobre el otro:

$$A = P \cdot \mu$$

Aceleración de la gravedad (*g*): su valor es 9,81 m/s^2.

2 >> Estudio teórico del proceso de frenado

El estudio teórico del proceso de frenado se realiza considerando que el movimiento del vehículo se produce sobre un tramo recto, sin acciones laterales y sin recibir los efectos de la suspensión ni de las fuerzas aceleradoras o resistentes.

2.1 > Fuerza de frenado (F_f)

La fuerza de frenado (F_f) es la fuerza que se necesita para desacelerar y lograr detener un vehículo. Más concretamente, es la suma de las fuerzas originadas en la superficie de contacto entre los neumáticos y la calzada, que surgen como oposición al par que se opone al giro de las ruedas (figura 11.2).

Los pares de frenado M_{fd} (par de frenado delantero) y M_{ft} (par de frenado trasero) se generan por la acción del freno de servicio o de estacionamiento sobre los elementos mecánicos de los frenos de las ruedas y actúan en sentido contrario al de avance de la rueda (figura 11.3).

La aplicación de los pares de frenado en las ruedas provoca que la calzada reaccione ejerciendo una fuerza de frenado sobre el neumático que trata de mantenerlo girando.

Esta fuerza de frenado no debe superar el valor de la adherencia (*A*) entre el neumático y la calzada, ya que, si esto ocurriera, las ruedas se bloquearían y patinarían, desviando lateralmente al vehículo de su trayectoria, es decir, provocando que derrapara. Por tanto: fuerza de frenado ≤ adherencia.

Así, la fuerza máxima de frenado ($F_{fmáx}$) está determinada por la adherencia y es igual a ella:

$$F_{fmáx} = P \cdot \mu_{máx}$$

P = peso adherente
$\mu_{máx}$ = coeficiente de adherencia máximo

2.2 > Deceleración máxima o eficacia de frenado

La eficacia (*E*) del sistema de frenos indica el grado en que se aprovecha la adherencia disponible entre el neumático y la calzada.

Igualando la expresión de la fuerza máxima de frenado al producto de la masa por la deceleración que causa, se obtiene la siguiente fórmula:

$$m \cdot g \cdot \mu_{máx} = m \cdot d$$

De esta se deduce que la fórmula de la deceleración máxima del vehículo en el proceso de frenado es la siguiente:

$$d_x = \mu_{máx} \cdot g$$

La deceleración suele expresarse como el tanto por ciento del valor de g (9,81 m/s²). Por ejemplo, una deceleración del 30% indica que su valor en m/s² es de 0,30 · 9,81 = 2,943 m/s². En los turismos con sistema de frenos convencional la deceleración suele tener un valor aproximado del 70% y con sistema ABS suele alcanzar el 80 o el 90%.

2.3 > Distancia de parada (D_p)

La distancia de parada (D_p) es la distancia total que recorre un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde la posición que ocupa en el momento en que aparece el objeto que motiva la frenada hasta que para por completo.

Dicha distancia comprende el espacio recorrido durante la percepción del obstáculo y la reacción del conductor (D_{pr}) más el espacio recorrido durante la frenada del vehículo (D_f), es decir, $D_p = D_{pr} + D_f$.

Para calcular la distancia de parada son necesarias las siguientes magnitudes:

- Coeficiente de rozamiento longitudinal neumático-calzada (μ_r). La tabla del margen muestra sus valores para diferentes velocidades.
- Tiempo de percepción y reacción (t_{pr}) en segundos. Oscila entre 0,5 y 1 s, dependiendo del conductor, las condiciones meteorológicas, etc. En la práctica, y a efectos de cálculo, se consideran valores de 1,5 a 2 s. En los siguientes cálculos se tomará el valor de 2 s.
- Inclinación de la calzada (i) en tanto por uno, que tendrá valores positivos si favorece la frenada (cuesta arriba), ya que reduce la distancia, y negativos en caso contrario.
- La velocidad del vehículo en km/h.

Con estas magnitudes la distancia de parada (D_p) será:

$$D_{pr} = \frac{v \cdot t_{pr}}{3{,}6} \qquad D_f = \frac{v^2}{254 \cdot (\mu_r \pm i)}$$

$$D_p = \frac{v \cdot t_{pr}}{3{,}6} + \frac{v^2}{254 \cdot (\mu_r \pm i)} \text{ metros}$$

Coeficiente de rozamiento longitudinal (μ_r) (Instrucción Española 3.1.I.C. de Trazado)

v (km/h)	μ_r
40	0,432
50	0,411
60	0,390
70	0,369
80	0,348
90	0,334
100	0,320
110	0,306
120	0,291
130	0,277
140	0,263
150	0,249

Casos prácticos

Cálculo de magnitudes teóricas del proceso de frenado

1. ¿Qué deceleración máxima de frenado se puede conseguir en un vehículo que circula sobre una calzada cuyo coeficiente de adherencia (μ) es 0,60?
2. Calcula la distancia de parada de un vehículo desde el momento en el que el conductor percibe el obstáculo, considerando que circula por una calzada de 0% de inclinación a una velocidad de 100 km/h.

Solución ··

1. El máximo valor de deceleración teórico es:

$$d = \mu \cdot g = 0{,}60 \cdot 9{,}81 = 5{,}88 \text{ m/s}^2$$

2. Aplicamos la fórmula:

$$D_p = \frac{100 \cdot 2}{3{,}6} + \frac{100^2}{254 \cdot 0{,}320} = 178{,}58 \text{ m}$$

3 >> Sistema de mando del sistema de frenos

El accionamiento del sistema de frenos requiere de un sistema que permita transmitir la fuerza muscular del conductor situado en el puesto de conducción, ejercida sobre el pedal o la palanca de mano, a los dispositivos de frenado situados en las ruedas.

Existen distintos tipos de mandos del sistema de frenos:

- **Mando mecánico:** las fuerzas se transmiten mediante el uso de varillas (por compresión o tracción) o cables (por tracción).
- **Mando hidráulico:** la fuerza del conductor se transforma en presión de un fluido hidráulico y es transmitida a través de unas canalizaciones.
- **Mando neumático:** es similar al mando hidráulico, pero el medio de transmisión de la fuerza es aire comprimido.

11.4. Freno de motocicleta accionado por un sistema de mando mecánico.

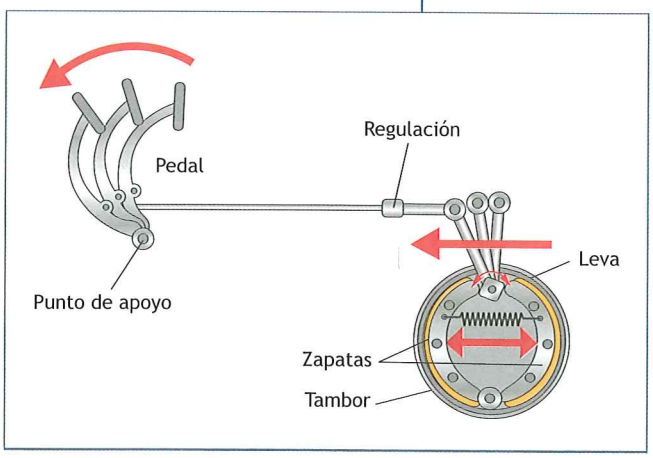
El sistema de mando más utilizado en los frenos de servicio de los vehículos automóviles de turismo y vehículos industriales ligeros es el hidráulico.

En vehículos industriales medianos y pesados, el sistema que se emplea es el hidráulico o el neumático.

El mando mecánico, sin embargo, en la actualidad solo se utiliza en los frenos de estacionamiento y en el freno de servicio de algunas motocicletas (figura 11.4).

3.1 > Sistema de mando mecánico

En los frenos mecánicos, al presionar el pedal del freno, la fuerza resultante se transmite mecánicamente mediante un sistema de palancas, cables y otros mecanismos (figura 11.5). Este tipo de mando dejó de ser funcional como mando del freno de servicio cuando la potencia de los motores de los vehículos permitió alcanzar altas velocidades, pues de este modo accionar los frenos y detener el vehículo requerían un gran esfuerzo físico del conductor.



11.5. Esquema del sistema de mando mecánico.

En la mayoría de los vehículos actuales se sigue usando el mando mecánico, aunque únicamente para el accionamiento del freno de estacionamiento o freno de mano.

3.2 > Sistema de mando neumático

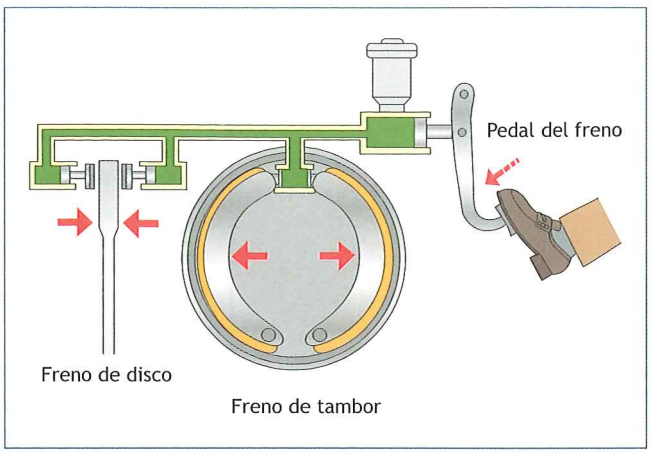
En los sistemas de frenos neumáticos, el aire comprimido, producido por un compresor, es conducido a través de la unidad de mantenimiento a los depósitos de aire comprimido, donde se almacena. En la fase de frenado, al pisar la válvula del freno de servicio (pedal del freno), el aire comprimido almacenado en los depósitos es conducido a las cámaras de aire de los frenos (delanteros y traseros) a una presión del sistema de más de 10 bares.

Este sistema de frenos se explica con detenimiento en la Unidad 13 de este libro.

3.3 > Sistema de mando hidráulico

El sistema de mando hidráulico utiliza la presión de un fluido (líquido de frenos), originada por la fuerza que ejerce el conductor desde el pedal del freno, y la transmite mediante unas canalizaciones cerradas hasta los cilindros de freno situados en las ruedas.

Cuando el conductor acciona el pedal del freno, desplaza un émbolo dentro de un cilindro (bomba de freno), elevando la presión del fluido contenido en su interior.

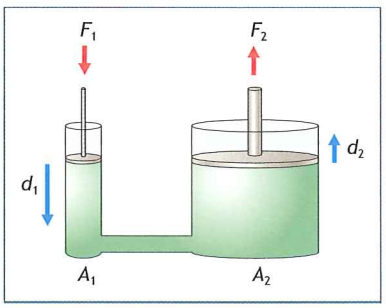


11.6. Esquema del sistema de mando hidráulico.

La presión del fluido actúa en cada punto y en todas las direcciones con la misma magnitud (principio de Pascal). De este modo se transmite a través de las canalizaciones cerradas hasta llegar a los cilindros de freno, donde provoca el desplazamiento de los émbolos y el consiguiente rozamiento de los elementos propios del freno, para disminuir la velocidad de giro de las ruedas.

En la transmisión hidráulica de fuerzas, por lo general, se produce una transformación de las mismas. Las fuerzas (F_1, F_2) guardan entre sí la misma relación que la superficie de los émbolos (A_1, A_2), pero los desplazamientos de los émbolos (d_1, d_2) tienen un comportamiento inverso al de las fuerzas (figura 11.6):

$$\left.\begin{array}{l} F_2 > F_1 \\ d_2 < d_1 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$



11.7. Esquema del principio de Pascal.

Casos prácticos

Cálculo de la fuerza resultante en un sistema de mando hidráulico

•• Sobre un émbolo de sección menor (A_1) de 2 cm de diámetro ($\varnothing_1$) se aplica una fuerza (F_1) de 300 N y se desplaza 30 mm (d_1). Calcula la fuerza resultante (F_2) del émbolo de mayor sección (A_2) de 5 cm de diámetro ($\varnothing_2$) y el desplazamiento (d_2) experimentado.

Solución •• Para resolverlo usamos el principio de Pascal. Comenzamos calculando la superficie de los émbolos:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot \varnothing_1^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 2^2}{4} = 3{,}14 \text{ cm}^2 \qquad A_2 = \frac{\pi \cdot \varnothing_2^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 5^2}{4} = 19{,}62 \text{ cm}^2$$

Ahora, aplicando el principio de Pascal y despejando, obtenemos la fuerza resultante (F_2):

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \Rightarrow \frac{300}{F_2} = \frac{3{,}14}{19{,}62} \Rightarrow F_2 = \frac{300 \cdot 19{,}62}{3{,}14} = 1\,874{,}52 \text{ N}$$

Para calcular el desplazamiento (d_2) que recorre el émbolo A_2 tenemos que tener en cuenta que el volumen de los dos cilindros (C_1 y C_2) que describen los desplazamientos de los dos émbolos debe ser igual:

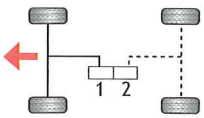
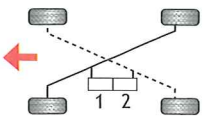
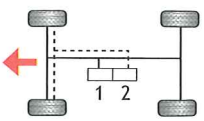
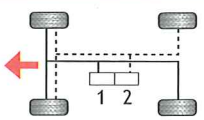
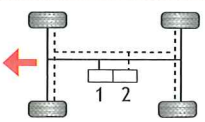
$$V_{c_1} = V_{c_2} \Rightarrow A_1 \cdot d_1 = A_2 \cdot d_2 \Rightarrow d_2 = \frac{A_1 \cdot d_1}{A_2} = \frac{3{,}14 \cdot 30}{19{,}62} = 4{,}8 \text{ mm}$$

Configuración del mando hidráulico

En un principio, el sistema de mando hidráulico del freno de servicio constaba de una única canalización común para transmitir la presión de frenado a todos los cilindros de freno de las ruedas. Sin embargo, con esta configuración, si surgía una avería en el sistema, el vehículo se quedaba sin sistema de frenos.

Posteriormente la configuración del mando hidráulico del freno de servicio quedó definida por la norma DIN 74000. Esta establece varias opciones de configuración de tipo dual o desdoblado para garantizar que, en caso de que surja una avería en uno de los circuitos, el otro permanezca activo (freno de socorro).

Esquemas de configuración dual según la norma DIN 74000

Tipo	Distribución de la frenada	Esquema
Sistema II	Eje delantero Eje trasero Cada circuito frena un eje	
Sistema X	Diagonal: cada rueda delantera y con la trasera del lado contrario	
Sistema HI	Eje delantero-eje trasero Eje delantero	
Sistema LL	Eje delantero-rueda trasera Eje delantero-otra rueda trasera	
Sistema HH	Eje delantero-eje trasero Eje delantero-eje trasero	

De las cinco opciones disponibles, para los vehículos automóviles de turismo solo se utilizan el sistema X (distribución diagonal) y el sistema II (distribución eje delantero y eje trasero):

- En los vehículos con carga más elevada en el eje delantero (FF) se emplea el sistema X, donde cada uno de los dos circuitos alimenta a una rueda delantera de un lado y a la trasera del lado contrario.
- En los vehículos con carga más elevada en el eje trasero (FR), se emplea el sistema II, donde una de las líneas de freno sirve a las ruedas delanteras y la otra a las traseras.

El resto de los esquemas de configuración no se suelen utilizar tan frecuentemente.

Nota

Según su tracción y la posición de su motor, la configuración de los vehículos puede denominarse:

- FF: vehículos de tracción delantera con motor delantero.
- FR: vehículo de tracción trasera (propulsión) con motor delantero.

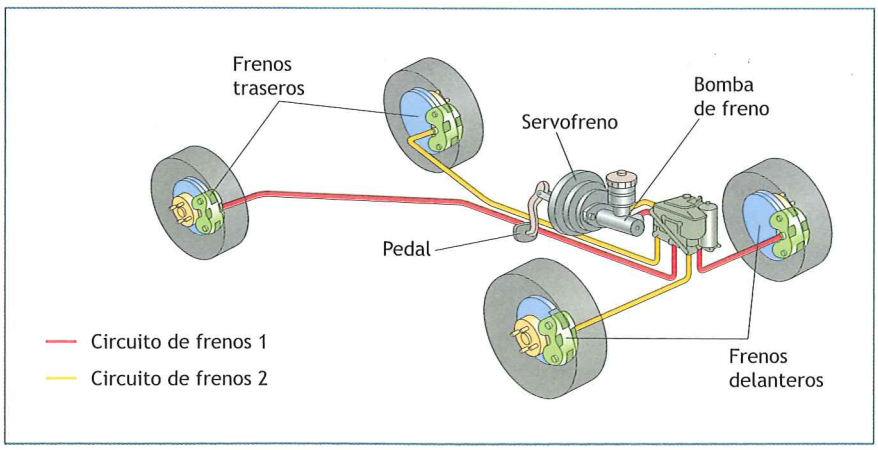
4 >> Freno de servicio

El freno de servicio es el que permite reducir la velocidad del vehículo durante las condiciones normales de marcha.

Forman parte de la instalación general de este freno todos los elementos comprendidos entre el pedal del freno y los frenos delanteros o traseros ubicados en las ruedas.

Los principales componentes del freno de servicio con sistema de mando hidráulico son los siguientes (figura 11.8):

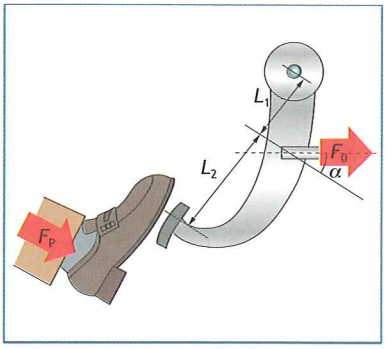
- **Pedal de freno:** tiene forma de palanca y sirve para activar el circuito del freno de servicio. Actúa sobre la bomba de freno o el servofreno.
- **Amplificador del mando de freno o servofreno:** es un dispositivo que asiste en la frenada y permite modular y amplificar la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal del freno.
- **Bomba de freno** (cilindro principal o cilindro maestro): es el componente que transforma la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal del freno en presión hidráulica.
- **Circuito hidráulico:** es el componente a través del cual la presión hidráulica generada por la bomba de freno se distribuye hasta los cilindros de las ruedas, donde se produce el esfuerzo de frenado.
- **Compensadores de frenado:** se encargan de reducir la presión en los frenos del eje trasero en función del desplazamiento dinámico de la carga que se produce entre los ejes al frenar el vehículo.
- **Frenos:** son los componentes finales del freno de servicio. Van incorporados en las ruedas y, mediante la fricción que se produce entre ellos, frenan el giro de las ruedas transformando en calor la energía cinética generada en el desplazamiento del vehículo.



11.8. Esquema del freno de servicio hidráulico con sistema X.

El conductor, al presionar el pedal del freno, y ayudado por el servofreno, desplaza los émbolos internos de la bomba de freno, generando una determinada presión en el fluido hidráulico que se transmite a través de las canalizaciones hasta los cilindros actuadores de las ruedas. Esto provoca su desplazamiento y la acción sobre las pastillas de los frenos (frenos de disco) o sobre las zapatas de los frenos (frenos de tambor).

11.9. Pedal del freno.



11.10. Esquema de fuerzas en el pedal del freno.

5 >> Pedal del freno

El pedal del freno es la palanca de activación del circuito del freno de servicio. Sobre él actúa el conductor para disminuir la velocidad del vehículo o bien para retenerlo en la parada. La transmisión mecánica usual es de 1:4 a 1:5, dependiendo de la geometría del pedal. Mediante la interposición de un vástago, el pedal puede transmitir directamente la fuerza resultante al cilindro maestro (bomba de freno) o, como es más habitual, al mecanismo multiplicador del esfuerzo (servofreno).

En el propio pedal del freno va incorporado un interruptor o conmutador de freno que da información de la activación del freno y/o activa las luces de freno.

El pedal del freno retorna a su posición de reposo gracias a un resorte de tracción que está unido al pedal por un extremo y a la carrocería del vehículo por el extremo opuesto.

El pedal del freno consiste, por tanto, en una palanca que modifica la fuerza que ejerce el conductor sobre él. Teniendo en cuenta el pedal del freno de la figura 11.10, la fuerza realizada por el conductor sobre el pedal (F_p) genera una fuerza (F_0) de salida. La fuerza de salida se genera en relación al brazo de palanca y en función de la geometría del pedal del freno según la siguiente expresión:

$$F_0 = \frac{F_p \cdot (L_1 + L_2)}{L_1} \cdot \cos \alpha$$

Técnica

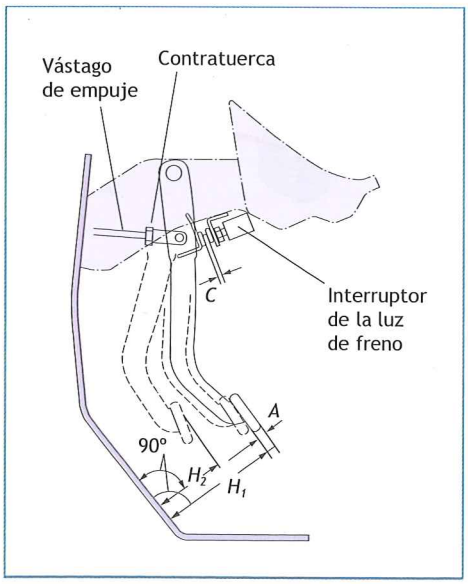
Ajuste del pedal del freno

•• Para ajustar la holgura entre el piso del vehículo y la superficie superior del pedal del freno, de acuerdo a las cotas facilitadas por el fabricante, debemos realizar lo siguiente (figura 11.11):

1. Aflojamos la contratuerca del vástago de empuje.
2. Giramos la varilla para ajustar el pedal a la altura especificada.
3. Fijamos el vástago de empuje dando apriete a la contratuerca.
4. Comprobamos el juego libre del pedal.
5. Comprobamos que las luces de freno se apagan al soltar el pedal.

Las medidas que se deben tener en cuenta en este proceso son (figura 11.11):

- H1: altura del pedal del freno. Suele estar entre 156 y 166 mm.
- H2: altura del pedal pisado. Con el motor en funcionamiento y ejerciendo una fuerza sobre el pedal de 50 kg suele ser unos 80 mm.
- C: holgura entre la goma de tope y el extremo roscado del interruptor de las luces de freno. Suele estar entre 0,74 y 1,96 mm.
- A: juego libre del pedal de freno. Suele estar entre 3 y 11 mm.



11.11. Esquema de ajuste del pedal del freno.

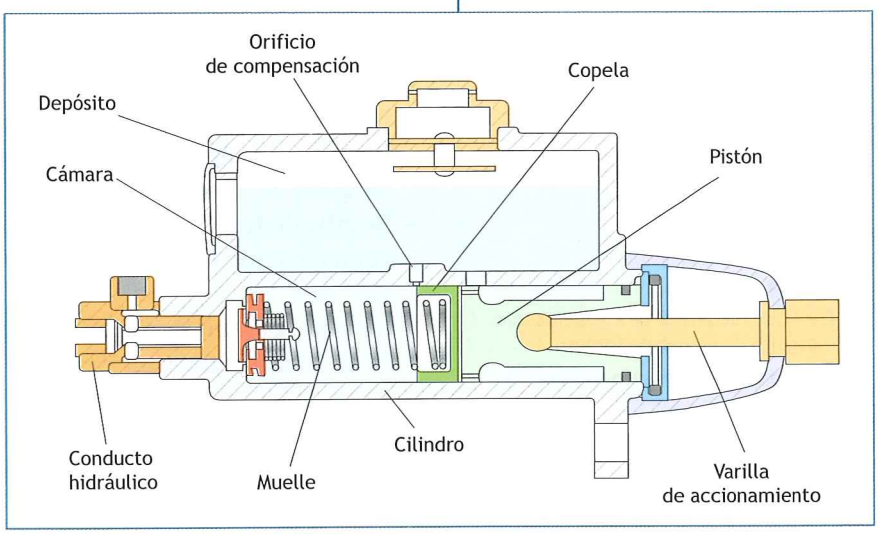
6 >> Bomba de freno o cilindro principal

La bomba de freno genera la presión hidráulica en el circuito del freno de servicio y controla el proceso de frenado.

La bomba recibe el esfuerzo del pedal del freno directamente o a través del amplificador de fuerza de frenado (servofreno) y lo convierte en presión hidráulica que dirige hacia los dispositivos de frenado de las ruedas.

Sus componentes fundamentales son (figura 11.12):

- **Depósito o recipiente de compensación** para el líquido de frenos.
- **Cuerpo** o **carcasa**, con un cilindro en su interior denominado cámara.
- **Émbolo** o **pistón**, en el interior del cilindro, que se desplaza por la cámara accionado por el pedal del freno genera así la presión hidráulica en el sistema.
- **Retenes o copelas**, que dan estanqueidad y evitan las pérdidas de presión.
- **Taladro u orificio de compensación**, que pone en comunicación el depósito con la cámara de la bomba.
- **Muelle o resorte recuperador**, que está tarado a una determinada presión y desplaza el émbolo a su posición de reposo.
- **Conductos de salida**, que ponen en comunicación la bomba con los cilindros receptores del freno en la rueda a través de las correspondientes canalizaciones.



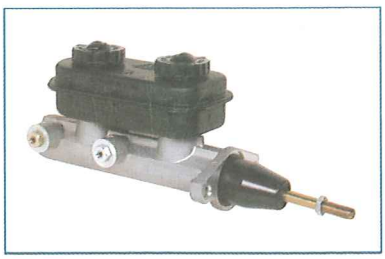
11.12. Partes de una bomba de freno simple.

Los distintos modelos de bombas de freno utilizados en los sistemas de frenos de servicio se pueden clasificar en dos tipos básicos:

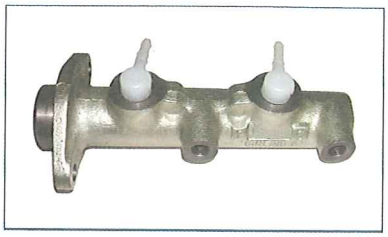
- **Bomba de freno simple** (figura 11.13): se utiliza en vehículos que solo disponen de un eje de frenado (algunos vehículos agrícolas, carretillas elevadoras, etc.). No se puede emplear en turismos con dos circuitos de freno independientes, ya que el cilindro de estas bombas dispone de una única cámara.
- **Bomba de freno de doble cuerpo o tipo tándem** (figura 11.14): se utiliza en los sistemas de freno de servicio con dos circuitos independientes. Incorpora un cilindro principal montado en tándem formado por dos cilindros principales conectados en serie (uno a continuación del otro) en una misma carcasa.

Basándose en las normas que rigen la homologación de vehículos, los fabricantes están obligados a incorporar un freno de servicio con dos circuitos de freno separados, de manera que el vehículo pueda detenerse si falla uno de los circuitos (freno de socorro).

11.13. Bomba de freno simple.



11.14. Bomba de doble cuerpo o tipo tándem.



11.15. Bomba de freno con taladro de compensación.

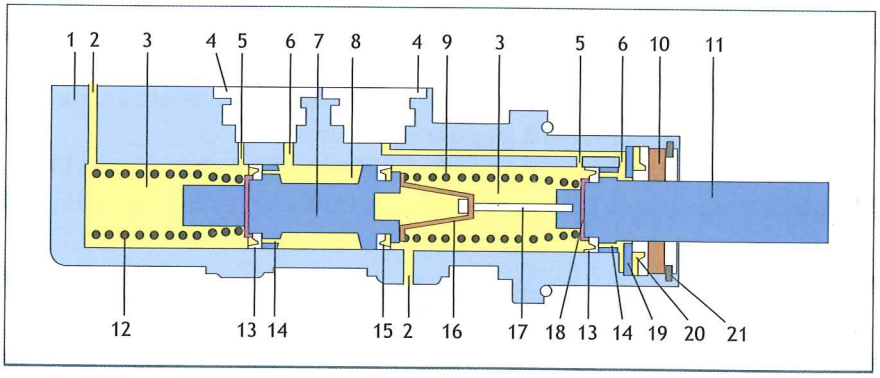
Por tanto, hoy en día todo vehículo equipado con un sistema de freno hidráulico dispone de una bomba de freno tipo tándem con dos circuitos totalmente independientes:

- Sistema X (distribución diagonal): el primer cuerpo de la bomba alimenta el cilindro actuador de las ruedas delantera izquierda y trasera derecha y el segundo cuerpo alimenta el cilindro actuador de las ruedas delantera derecha y trasera izquierda.
- Sistema II (distribución eje delantero y eje trasero): el primer cuerpo de la bomba alimenta los dos cilindros actuadores del eje delantero y el segundo los dos cilindros actuadores del eje trasero.

Existen bombas de freno tipo tándem de diferentes tipos:

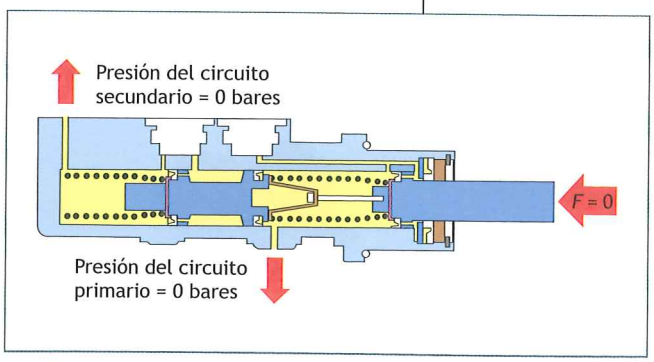
- **Bomba de freno tipo tándem con taladro de compensación:** se utiliza en vehículos antiguos o vehículos que no disponen de un sistema antibloqueo de frenos ABS.
- **Bomba de freno tipo tándem con válvula central:** se utiliza en aquellos vehículos que disponen de un sistema antibloqueo de frenos ABS con ESP, ASR, etc.
- **Bomba de freno tipo tándem con émbolo buzo:** es una bomba tipo tándem evolucionada y mejorada, de dimensiones más reducidas y aplicable a vehículos con sistema antibloqueo de frenos ABS con ESP, ASR, etc.

6.1 > Bomba de freno tipo tándem con taladro de compensación



11.16. Esquema de una bomba de freno con taladro de compensación.

1. Cuerpo de la bomba
2. Canalización de salida
3. Cámara de presión
4. Conexión recipiente de compensación (depósito de líquido de frenos)
5. Taladro de compensación o dilatación
6. Taladro de retorno
7. Émbolo secundario flotante
8. Cámara intermedia
9. Resorte de émbolo cautivo
10. Anillo de plástico
11. Émbolo primario y vástago de presión
12. Muelle secundario de compresión
13. Copela o guarnición de presión
14. Orificios de compensación
15. Copela o guarnición de separación
16. Manguito de trabajo
17. Tornillo de trabajo
18. Anillo de apoyo
19. Arandela de tope
20. Copela o guarnición primaria
21. Anillo de retención y cierre



11.17. Bomba de freno tipo tándem con taladro de compensación en posición de reposo.

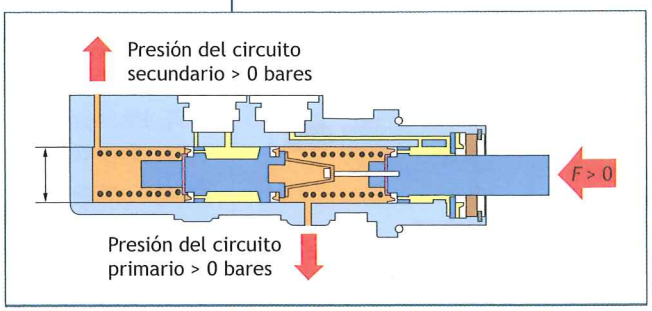
Fase de reposo

El resorte de émbolo cautivo (9) en la fase de reposo de la bomba mantiene el émbolo primario (11) y el émbolo secundario (7) separados a una distancia fija. De este modo se consigue que, en la posición de reposo, el resorte de émbolo cautivo (9) no desplace el émbolo secundario flotante (7) y que este pase con la copela de presión por delante del taladro de compensación (5), ya que no sería posible compensar la presión en el circuito secundario a través del taladro (5), pues quedaría, al soltar el pedal del freno, presión residual en dicho circuito y en los cilindros de freno de las ruedas.

Funcionamiento

Con la bomba de freno en reposo, los émbolos primario (11) y flotante (7) están retrasados, forzados por el muelle (12) y el resorte cautivo (9), y las cámaras de presión (3) se comunican con el depósito de compensación.

El conductor, al presionar el pedal del freno, transmite el esfuerzo al vástago de presión y al émbolo primario (11), desplazando el émbolo flotante (7), forzado por el resorte cautivo (9), hacia delante. Ambos émbolos se desplazan por delante de los taladros de compensación (5) e impulsan el líquido de frenos hacia las canalizaciones de freno de los cilindros de freno de las ruedas (2). Al aumentar la presión en el circuito del freno, el émbolo flotante (7) ya no es desplazado por el resorte cautivo (9) sino por la presión del líquido de frenos retenido en la cámara primaria, que sigue empujando el émbolo flotante hacia delante.



11.18. Bomba de freno tipo tándem con taladro de compensación en funcionamiento.

Las copelas de presión evitan que el líquido de frenos pase de una cámara a otra, que se pierda hacia el exterior y, lógicamente, que entre aire al interior de la bomba.

Cese de la fuerza de frenado

Cuando se libera el esfuerzo ejercido sobre el pedal del freno, los resortes de los elementos del freno (de las zapatas en los frenos de tambor) fuerzan a los pistones de los cilindros de las ruedas a retroceder, obligando a su vez al líquido de frenos a retornar de las canalizaciones hacia la bomba de freno.

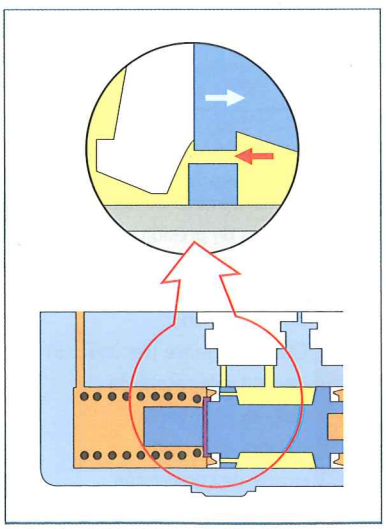
Simultáneamente, el émbolo secundario (7) y el émbolo primario (11) de la bomba de freno son obligados por sus resortes a volver a su posición de reposo, provocando una caída de presión en el circuito.

El retorno del líquido de frenos de los cilindros de las ruedas es ralentizado por los rozamientos que se producen en las canalizaciones del circuito, por lo que se desplaza más lentamente que los émbolos de la bomba de freno, obligados por sus resortes. Esto provoca, en las cámaras de presión de la bomba (3), una depresión que aspira el líquido de frenos alojado entre la pared de los cilindros, el cuerpo de los émbolos y la cámara intermedia (8).

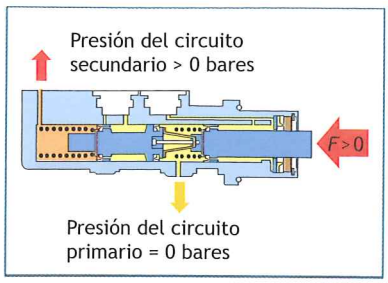
El líquido, de esta manera, pasa a través de los orificios de compensación de los émbolos (14), dirigiéndose hacia la cámara de presión del cilindro (3) a través de las copelas (13) y el cuerpo de la bomba (1). De este modo se ha producido la compensación (figura 11.17).

La depresión reinante en las cámaras de la bomba de freno tiende a retener el movimiento de retorno de las copelas (13) y deforma los bordes de las mismas. Cuando se produce la aspiración del líquido de frenos a través de los orificios de retorno (6) del depósito de líquido de frenos, el líquido pasa a través de los orificios de compensación de los émbolos (14) y entre los bordes de las copelas (13).

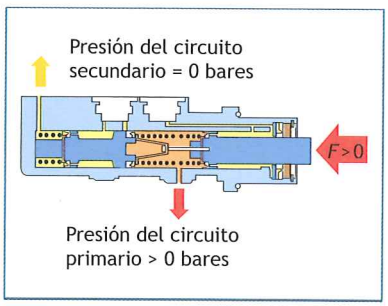
Así, los émbolos (7 y 11) llegan a su posición de reposo, el taladro de compensación (5) queda liberado y el líquido de frenos que retorna de las canalizaciones del circuito devuelve el líquido de la compensación (4) al depósito.



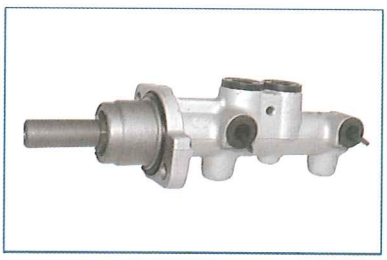
11.19. Compensación en el proceso de frenado.



11.20. Avería en el circuito primario de la bomba.



11.21. Avería en el circuito secundario de la bomba.



11.22. Bomba de freno tipo tándem con válvula central.

Avería en el circuito primario

Si existiera una fuga de líquido de frenos en el circuito primario, al comenzar el proceso de frenado el émbolo primario (11) avanzaría venciendo la fuerza del resorte cautivo (9) hasta hacer tope con el émbolo flotante (7). En consecuencia, este émbolo (7) avanzaría generando presión en el circuito secundario y enviándola a una de las ruedas delanteras y a la rueda trasera del lado contrario (configuración en X).

Avería en el circuito secundario

Si la fuga de líquido de frenos ocurriera en el circuito secundario, al comenzar el proceso de frenado el émbolo primario (11) se desplazaría hacia delante, generando presión en el circuito primario y forzando a desplazarse al émbolo flotante (7), que vencería la fuerza del muelle (12) hasta hacer tope con la pared del cuerpo de la bomba. En este caso se aportaría presión al circuito de freno, como en el caso anterior, pero sería ejercida sobre los cilindros de freno de las ruedas de la diagonal contraria.

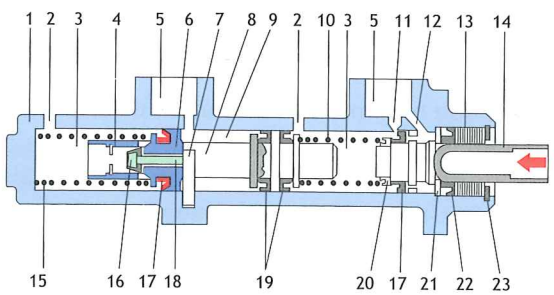
6.2 > Bomba de freno tipo tándem con válvula central

Este tipo de bomba ha sido desarrollada para usarse en vehículos con sistema antibloqueo de frenos (ABS, ESP, ASR, etc.). Su funcionamiento básico es muy similar al descrito anteriormente.

Dispone de un émbolo flotante (6) con una válvula central integrada que en la posición de reposo de la bomba deja circular el líquido de frenos por el orificio de la espiga de válvula (18). La válvula central es la que suple la función del taladro de compensación en el circuito secundario. La cámara central (9), a través de un orificio, está en comunicación permanente con el depósito de compensación.

En los vehículos equipados con sistema antibloqueo de frenos ABS existe el riesgo de que, al desplazarse la copela primaria (17; lado derecho de la bomba) por delante del taladro de compensación (11), se produzcan daños en la misma debido a las altas presiones y las posibles averías en uno de los circuitos de la bomba. Por este motivo, la mayoría de las bombas diseñadas para vehículos con ABS poseen dos válvulas centrales.

1. Cuerpo de la bomba
2. Salida de presión de los cilindros de las ruedas
3. Cámara de presión
4. Resorte de válvula
5. Ubicación recipiente de compensación
6. Émbolo flotante (secundario)
7. Manguito de retención
8. Émbolo intermedio
9. Cámara intermedia
10. Muelle de compresión
11. Taladro de compensación
12. Taladro de retorno
13. Casquillo de plástico
14. Émbolo de vástago de presión (primario)
15. Muelle de compresión (secundario)
16. Junta de válvula
17. Copela o guarnición
18. Espiga de válvula
19. Copela o guarnición de separación
20. Anillo de apoyo
21. Arandela de tope
22. Copela o guarnición primaria
23. Anillo de cierre y retención



11.23. Esquema de una bomba de freno tipo tándem con válvula central.

Funcionamiento

Al pisar el pedal del freno, el esfuerzo transmitido actúa sobre el vástago y el émbolo primario (14), desplazándolos. La copela de este émbolo (17) pasa por delante del taladro de compensación y así el líquido de frenos presente en la cámara de presión (3) puede impulsar el émbolo flotante (6) hacia delante. Al desplazarse el émbolo flotante una distancia aproximada de 1 mm, despega la espiga de válvula (18) del manguito de retención (7) y provoca que la junta de válvula (16), aplicada al émbolo flotante, produzca el cierre entre la cámara de presión (3) y la cámara intermedia (9). Al seguir aumentando el esfuerzo sobre el pedal del freno, aumenta la presión en las dos cámaras (3) y se transmite al circuito de freno a través de los orificios (2).

Cuando se suelta el pedal del freno, los dos émbolos (14 y 6) se desplazan hacia atrás, hasta dejar al descubierto el taladro de compensación (11) o en correspondencia hasta que la espiga de válvula (18) haga tope contra el manguito de retención (7) y la junta de válvula (16) se separe del émbolo flotante (6), lo que provoca que el líquido de frenos retorne al recipiente de compensación y descienda así la presión en el circuito de freno.

6.3 > Bomba de freno tipo tándem con émbolo buzo

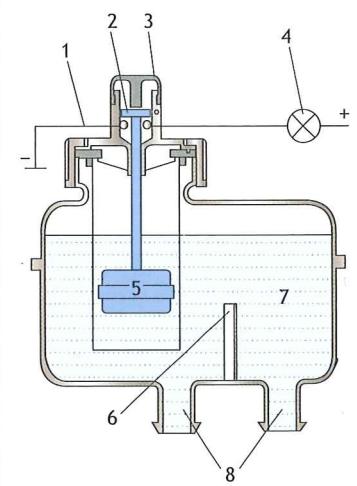
La bomba de freno tipo tándem con émbolo buzo es la última generación en bombas de freno (p. ej. la versión Plunger II). Además de proporcionar todas las funciones de las bombas tipo tándem anteriores, cuenta con más ventajas y características, entre las cuales destacan las siguientes:

- Su tamaño es más compacto y reducido para poder ubicarse en espacios más limitados de montaje.
- Pesa aproximadamente un 20% menos respecto a la versión convencional con válvula central.
- Posee la mitad de componentes que las versiones convencionales.
- Dispone de baja absorción de volumen y deformaciones elásticas minimizadas por juntas más pequeñas.
- Tiene juntas estancas situadas dentro de la carcasa, lo que aporta resistencia a la contaminación y al desgaste y, por tanto, una vida útil más larga.
- Dispone de superficie libre de Cr6 para vehículos construidos a partir de julio de 2003 (conforme a la normativa anticontaminación establecida).
- Es apta para ABS, ESP, ASR, etc.

6.4 > Depósito o recipiente de compensación

Se encuentra en la parte superior de la bomba. Este depósito contiene y alimenta de fluido el circuito hidráulico y se encarga de contrarrestar las variaciones de volumen que se producen en los cilindros receptores de freno de las ruedas en el momento de soltar el pedal del freno, por el desgaste de los elementos de fricción, por las diferencias de temperatura en el sistema de frenos y durante la intervención de los ABS y ESP.

Suele disponer de un flotador de material plástico (5) que desciende con el nivel del líquido de frenos y, mediante un contacto metálico, conecta el circuito eléctrico del testigo de aviso de bajo nivel para advertir al conductor.



1 Conexión del circuito eléctrico de aviso
2 Contacto metálico del flotador
3 Tapón de cierre del depósito
4 Testigo de aviso
5 Flotador
6 Indicador visual de nivel de líquido
7 Líquido de frenos
8 Conexiones con la bomba de freno

11.24. Componentes de un depósito o recipiente de compensación.

7 >> Circuito hidráulico

El circuito hidráulico está constituido por aquellos elementos que transportan el líquido de frenos desde la bomba de freno hasta los dispositivos de frenado situados en las ruedas.

7.1 > Canalizaciones

Para transportar el líquido de frenos, el circuito hidráulico cuenta con unas canalizaciones que están constituidas por tramos metálicos y tramos flexibles. Todos los tramos de las canalizaciones están conectados mediante uniones roscadas llamadas *fittings* y están fijados a la carrocería con grapas o abrazaderas.

Tuberías metálicas

Las tuberías metálicas, de acero cobrizado (recubrimiento de cobreado galvánico), suelen tener un diámetro exterior de unos 4,5 mm y un diámetro interior de 2,5 mm. Están protegidas con múltiples capas que les aportan rigidez y las protegen exteriormente contra la corrosión (figura 11.25).

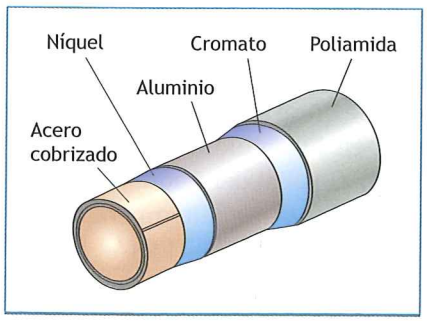
El tendido de las tuberías se dispone a una distancia adecuada de la carrocería de los vehículos para evitar que entren en contacto con ella o con otros elementos del vehículo, salvo en los puntos de unión con los componentes del circuito de freno.

Manguitos flexibles (latiguillos de caucho)

Están formados por una capa interior de goma, dos capas de rayón, que soportan la presión del líquido de frenos, un revestimiento exterior de goma y los correspondientes elementos de unión en los extremos.

Los manguitos flexibles están situados en el tramo de los dispositivos de frenado con el fin de absorber las diferentes oscilaciones y movimientos que realizan las ruedas cuando el vehículo se desplaza.

Las longitudes y campos de aplicación de los manguitos flexibles están sujetos a las especificaciones de cada vehículo. Por lo general, se establece que los manguitos flexibles de freno no deben entrar en contacto en condiciones de circulación con elementos de los ejes o de la propia carrocería, además de observar la temperatura y las tolerancias de la presión prefijadas.



11.25. Estructura de un tubo metálico de freno.

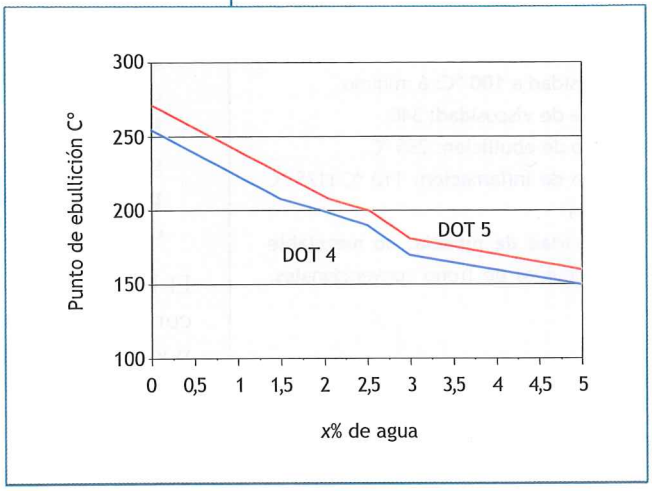
11.26. Canalizaciones de freno metálicas y flexibles.

7.2 > Líquido de frenos

El líquido de frenos es el fluido que se utiliza en el circuito hidráulico de freno para transmitir la fuerza.

Las siguientes características de los líquidos de frenos deben cumplir una serie de exigencias recogidas en las normas SAE J1703, FMVSS 116 e ISO 4925:

- **Punto de ebullición de equilibrio en seco:** representa la capacidad de carga térmica del líquido de frenos. A temperaturas superiores a la del punto real de ebullición del líquido de frenos pueden formarse burbujas de vapor en las canalizaciones que inactiven el sistema de frenos. La carga térmica más elevada que debe soportar el líquido se alcanza en la zona de los cilindros de freno de las ruedas (> 500 °C), pues allí se producen la máximas temperaturas del sistema de frenos.
- **Punto de ebullición en húmedo:** es el punto de ebullición de equilibrio del líquido de frenos después de que haya absorbido agua. Principalmente los líquidos de frenos sintéticos con composición a base de glicoles tienen una mayor capacidad de absorción de agua en forma de vapor o de líquido del ambiente, lo que produce en ellos un considerable descenso del punto de ebullición. La humedad se puede absorber por difusión a través de las costuras microscópicas de los manguitos flexibles de freno o alrededor de las guarniciones. Por esta razón es necesaria la sustitución del líquido de frenos de los vehículos como máximo cada dos años.
- **Viscosidad:** la influencia de la temperatura sobre la viscosidad del líquido de frenos debe ser la menor posible para poder garantizar un funcionamiento del sistema de frenos adecuado y seguro dentro de un rango amplio de temperaturas (−40 °C a +100 °C). En los sistemas antibloqueo de frenos ABS es necesario que la viscosidad del líquido de frenos sea la más reducida posible a bajas temperaturas, para que este pueda fluir por las canalizaciones y orificios de las electroválvulas de la unidad hidráulica.
- **Compresibilidad:** la compresibilidad del líquido de frenos debe ser lo más pequeña e independiente de la temperatura posible.
- **Protección contra la corrosión:** la norma FMVSS 116 establece que los líquidos de frenos no deben ser corrosivos con los metales que compongan los elementos del sistema de frenos. Para ello, han de contener los aditivos adecuados para evitar la corrosión.
- **Ensanchamiento de los elastómeros:** el líquido de frenos debe ser compatible con los elastómeros empleados en el sistema de frenos. En principio, es deseable un pequeño ensanchamiento de los elastómeros, pero este no debe ser mayor de un 16% ya que, de lo contrario, disminuye la resistencia de los componentes. La contaminación de un líquido de frenos de procedencia sintética (glicol) con una pequeña proporción de aceite mineral (líquido de frenos mineral, disolvente) puede producir el deterioro de los elementos de goma (copelas, guarniciones, etc.) y la consiguiente inutilización del circuito de freno.



11.27. Gráfica de la variación del punto de ebullición en húmedo de los líquidos de frenos sintéticos (DOT).

Siglas

SAE: *Society of Automotive Engineering* (Sociedad de Ingeniería Automovilística).

FMVSS: *Federal Motor Vehicle Safety Standard* (Norma de seguridad americana para vehículos motorizados).

ISO: *International Standard Organization* (Organización Internacional de Estándares).

DOT: *Department of Transportation* (Ministerio de Transporte).

Vocabulario

Higroscópico: se dice de un material con capacidad de absorber y exhalar la humedad según el medio en que se encuentra.

Características del LHM

- **Descripción:** fluido hidráulico de base petrolífera.
- **Aspecto:** fluido brillante de color verde.
- **Viscosidad a 40 °C:** 20 cSt.
- **Viscosidad a 100 °C:** 6 mínimo.
- **Índice de viscosidad:** 340.
- **Punto de ebullición:** 265 °C.
- **Punto de inflamación:** 110 °C (125 °C típico).
- **Capacidad de mezcla:** no mezclable con líquidos de freno convencionales.

Tipos de líquido de frenos y sus características

El líquido de frenos suele ser un compuesto mineral o sintético:

- **Líquidos minerales** (LHM, líquido hidráulico mineral): son de uso exclusivo para los sistemas coloreados en verde. Su composición es una combinación de aceites base minerales y aditivos como alquiditiofosfato de cinc y alquilmetacrilato (polímero). Se utilizan exclusivamente en algunos vehículos que comparten la hidráulica del circuito de freno con la dirección asistida y la suspensión hidroneumática, por ejemplo algunos de las marcas Citroën y Rolls Royce. Estos líquidos no deben mezclarse con los sintéticos.
- **Líquidos sintéticos:** están compuestos básicamente de éteres de poliglicol (98%) y aditivos (2%), necesarios para evitar la degradación química por las altas temperaturas y la corrosión. Su aspecto es incoloro o, en el caso del DOT 5, ámbar o violeta.

El líquido de frenos que más se utiliza es el de tipo sintético, dado que consigue alcanzar el mayor rendimiento de sus propiedades, como un poder de corrosión más bajo, un elevado punto de ebullición de equilibrio a altas temperaturas y en solidificación a bajas temperaturas, o un punto de fluidez constante respecto a las variaciones de la temperatura.

Una de las principales desventajas de los líquidos sintéticos es que absorben fácilmente la humedad ambiental y, aunque se añadan los aditivos adecuados para reducir su efecto, con el paso del tiempo vuelven a absorber agua.

Tabla de clasificación del líquido de frenos sintético

Comprobación según	FMVSS 116			SAE J1703
Exigencia/nivel	DOT 3	DOT 4	DOT 5-5.1	1183
Punto de ebullición mínimo en seco (°C)	205	230	260	205
Punto de ebullición mínimo en húmedo (°C)	140	155	180	140
Viscosidad en frío a -40 °C (mm^2/s)	1500	1800	900	900

Los líquidos DOT

Las normas que clasifican los líquidos de frenos son muy similares entre sí. En la actualidad, la más extendida y usada por los fabricantes es la regulada por el Ministerio de Transporte de los Estados Unidos (DOT) que agrupa las FMVSS 116.

Observación

Todos los líquidos de frenos, excepto DOT 5 (hecho a base de silicona), son higroscópicos y agresivos para la piel y las pinturas.

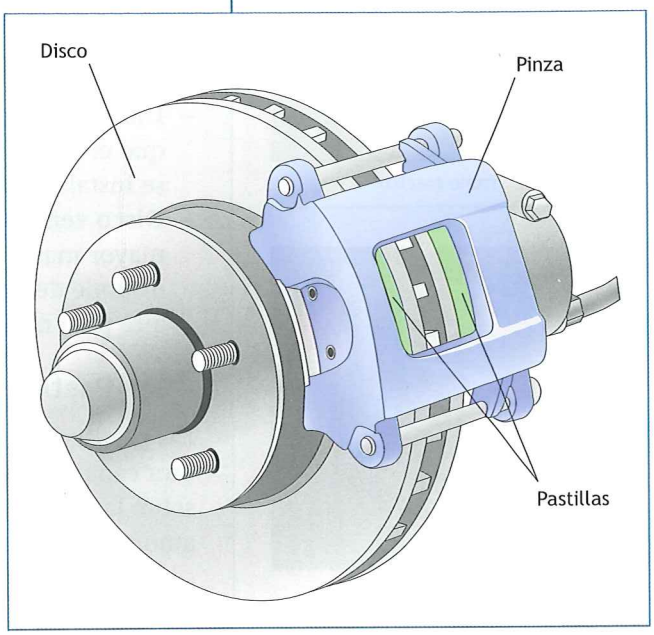
Los líquidos de frenos de clasificación DOT presentan las siguientes características:

- DOT 3: es muy higroscópico, absorbe cerca de un 2% de su volumen de agua por año. Su composición es muy fuerte y no debe usarse de recipientes abiertos.
- DOT 4: se le conoce como LMA (*low moisture absortion* o fluido de baja absorción de humedad) y su coste es mayor que el del DOT 3.
- DOT 5: es un fluido compuesto de silicona (polidimetil siloxanos). No es higroscópico, pero absorbe gran cantidad de aire (tres veces más que los de tipo DOT 3 y 4), sobre todo en alturas elevadas; esto dificulta el proceso de purga, ya que el aire atrapado se expande al aumentar la temperatura. No se debe mezclar con ningún otro tipo de líquido de frenos.
- DOT 5.1: es una variante mejorada del DOT 4 (no del DOT 5), por lo que es higroscópico.

8 >> Freno de disco

Aunque antes solo se instalaban, como norma general, frenos de disco en el eje delantero debido al mayor requerimiento de esfuerzo de frenado. En la actualidad, cada vez son más los automóviles de turismo que también poseen frenos de disco en el eje trasero.

Este tipo de frenos tiene mayor poder de frenado que el freno de tambor y, por lo tanto, una mayor eficacia. Esto se debe a que sus elementos están expuestos a una refrigeración mayor y, en consecuencia, la absorción de energía y transformación del calor se realiza con mayor rapidez, evitando un calentamiento tan crítico como el que puede producirse en el freno de tambor. Además, dada su construcción, si tuviera lugar una dilatación, el disco se aproximaría más a las pastillas de freno, lo que favorecería la presión y el efecto de la frenada.



11.28. Componentes de un freno de disco.

En el freno de disco, la fuerza de frenado se consigue por aplicación de fuerzas axiales sobre el disco solidario al cubo de rueda.

Los frenos de disco están formados por los siguientes elementos (figura 11.28):

- **Disco de freno:** es un elemento móvil que gira con la rueda, y va unido a ella o formando parte de su buje.
- **Pinza o mordaza de freno:** es la parte fija del freno. Está situada sobre el disco y va fijada al puente o mangueta mediante una unión roscada. En su interior posee unos cilindros mecanizados por los que se desplazan los pistones. En su parte exterior están practicados los orificios de acoplamiento del latiguillo de freno y el tornillo de purga.
- **Pistones:** se encuentran en uno o los dos lados del disco, en los cilindros del interior de la pinza de freno, por donde se desplazan. Son los encargados de recibir la presión del sistema de frenos y empujar las pastillas para realizar el frenado.
- **Pastillas:** están situadas sobre los pistones. Son las encargadas, mediante unos forros, de realizar la fricción con el disco durante el frenado.

El disco de freno funciona mediante la presión del líquido de frenos que, procedente del circuito hidráulico, circula por el interior de la pinza de freno. Este desplaza el pistón hacia el exterior de la pinza, empujando las pastillas de freno contra la superficie del disco. De este modo las pastillas detienen por fricción el giro del disco y, en consecuencia, la rueda del vehículo.

Finalizada la acción de frenado, el líquido de frenos deja de ejercer presión sobre la superficie del pistón y este se retrae hacia el interior de la pinza por acción de un anillo obturador y un ligero alabeo de la superficie del disco de freno.

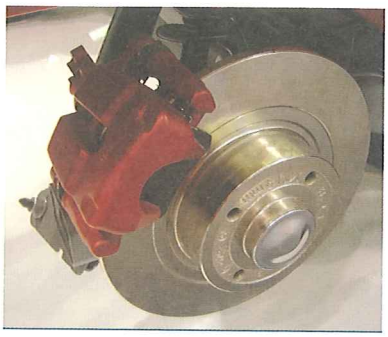
El pistón queda posicionado en el interior de la pinza de freno y el disco queda liberado, dejando a la rueda que gire libremente.

8.1 > Disco de freno

El disco de freno es el componente móvil del conjunto. Es de acero aleado con recubrimiento de cromo para poder soportar altas temperaturas sin sufrir degradación o deformación alguna, ya que su superficie es la que fricciona con las pastillas de freno durante la acción de frenado. Comparado con un tambor de freno, en un disco de freno, con forros de menor superficie, las fuerzas de apriete son mayores.

Básicamente existen dos tipos de discos de freno:

- **Disco macizo** (figura 11.29): no dispone de ventilación forzada, sino que el propio viento de la marcha es el que lo refrigera. Por lo general se instala en los frenos de disco traseros.
- **Disco ventilado exterior o interior** (figura 11.30): debido a que posee mayor masa, tiene mayor capacidad de acumular calor y, por lo tanto, dispone de orificios y canalizaciones por los que pasa forzosamente el aire para mejorar la refrigeración.



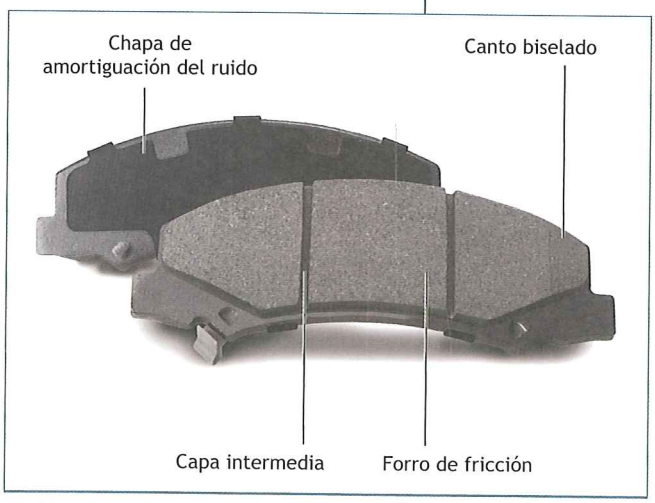
11.29. Disco de freno macizo.

11.30. Disco de freno ventilado.

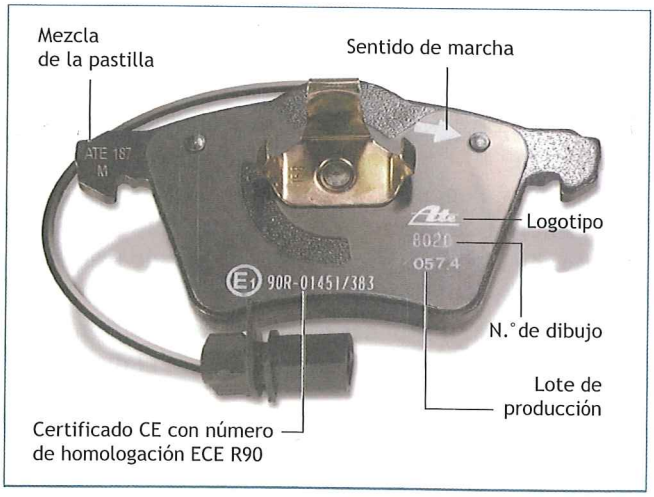
8.2 > Pastillas de freno

Las pastillas de freno están compuestas por una capa o forro de fricción y otra capa intermedia que va pegada a la placa soporte del forro. La zona sobre la que presiona el pistón del cilindro de la rueda lleva una chapa de amortiguación del ruido (figura 11.31).

La normativa europea ECE R90 regula las prestaciones que deben cumplir las pastillas de freno para estar homologadas. Aquellas que cumplen con la normativa van marcadas con una señal que lo certifica (figura 11.32).



11.31. Componentes de las pastillas de freno.



11.32. Nomenclatura de identificación de las pastillas de freno.

8.3 > Pinza o mordaza de freno

Las pinzas o mordazas de freno son los elementos que, mediante el desplazamiento del pistón por acción de la presión hidráulica, presionan las pastillas de freno contra la superficie del disco de freno.

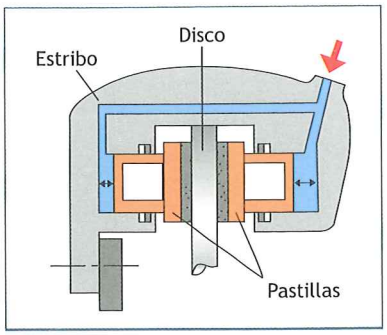
De acuerdo a la configuración de la pinza de freno, fija o flotante, se pueden distinguir dos tipos básicos de frenos de disco.

Freno de disco de pinza fija

Los frenos de disco de pinza fija poseen pistones en cada una de las dos partes en que se divide su pinza. De esta forma, los pistones presionan por ambos lados cada una de las pastillas de freno contra el disco repartiendo equitativamente la fuerza de frenado. Si cesa la presión hidráulica, los pistones se retiran a su posición inicial (figura 11.33).

Podría decirse que es el mejor diseño como sistema de frenos de rueda, pero tiene algunos inconvenientes como su peso, su gran volumen, que no le permite adaptare a todos los vehículos, y su elevado precio de fabricación. Además, es muy sensible al sobrecalentamiento en frenadas continuadas (situación extrema), pudiendo llegar a fallar el sistema de frenos por transferencia de calor al líquido de frenos.

Estos frenos proporcionan una mayor fuerza de frenado, por lo que se suelen instalar en turismos de alta gama (alto par y velocidad).

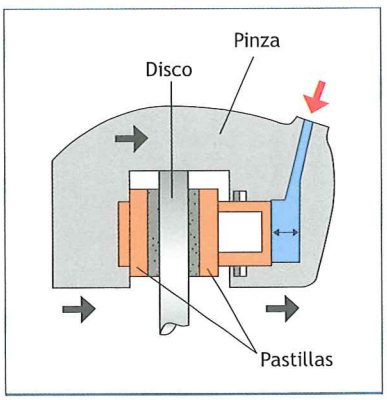


11.33. Disco de freno de pinza fija.

Freno de disco de pinza flotante

Los frenos de disco de pinza flotante disponen de un único pistón que presiona una de las pastillas de freno contra la superficie del disco. La fuerza de reacción desplaza la pinza, que es la que empuja la pastilla de freno contrapuesta contra el disco de freno (figura 11.34).

Este sistema es de menor tamaño, volumen y peso que el de pinza fija, lo que le hace adecuado para la mayoría de los vehículos del mercado, ya que no suelen disponer de mucho espacio en el tren delantero. Además es menos sensible a la temperatura y su mantenimiento es más sencillo.



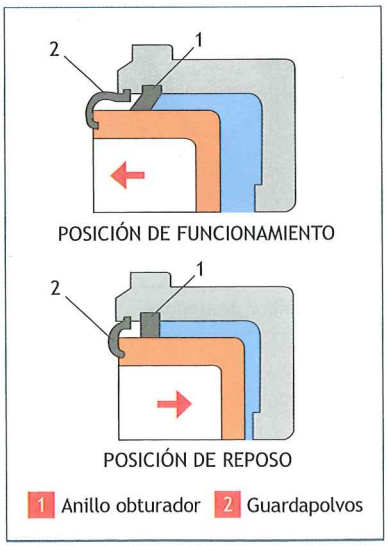
11.34. Disco de freno de pinza flotante.

8.4 > Anillo obturador del pistón

El cilindro de freno dispone de una ranura en la que va alojado un anillo obturador de sección rectangular que da estanqueidad al pistón y reajusta automáticamente su carrera (figura 11.35).

En el proceso de frenado, el desplazamiento del pistón hacia el disco tensa el anillo obturador, el cual, por fricción estática, no resbala sobre la superficie del pistón. La deformación elástica acumula en el anillo una fuerza que, al cesar la presión hidráulica, lo devuelve a su forma inicial y sitúa el pistón en su posición de reposo.

Si se desgastan las pastillas, la carrera del pistón aumentará, lo que hará que el anillo supere su tolerancia elástica (aprox. 0,15 mm) y resbale sobre su superficie, permitiendo el reajuste de la posición de reposo del pistón.



11.35. Esquema de funcionamiento del anillo obturador.

8.5 > Testigo de desgaste de las pastillas de freno

El control del desgaste de las pastillas de freno se realiza mediante un puente de hilo metálico insertado en la pastilla delantera interior izquierda. Cuando esta llega al límite de su desgaste, el puente metálico se rompe y se produce la conexión de masa. La unidad de control del cuadro de instrumentos lo detecta y activa de forma permanente, cada vez que se conecta el conmutador de encendido, el testigo de frenos de color amarillo del cuadro de instrumentos y un zumbador de alerta.

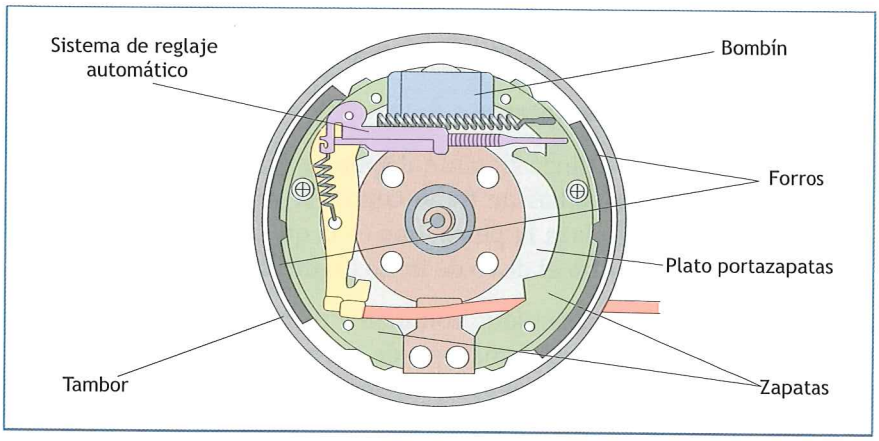
9 >> Freno de tambor o de expansión

El freno de tambor se utiliza en el tren trasero de algunos automóviles de turismo. Dispone de una gran superficie de rozamiento, por lo que necesita menos fuerza de frenado que el freno de disco, pero tiene peor capacidad de disipar el calor generado en la frenada.

Estos frenos producen la fuerza de frenado mediante la intervención de un cilindro hidráulico que, actuando en sus dos extremos, oprime unas zapatas con unos forros de freno contra la superficie interna de un tambor.

9.1 > Constitución del freno de tambor

Los componentes principales del freno de tambor son (figura 11.36):



11.36. Componentes del freno de tambor.

11.37. Tambor de freno.

- **Tambor:** es el elemento que gira con el conjunto de la rueda y que soporta la mayor parte del calor generado durante el frenado. Está fabricado con fundición gris perlítica con grafito esferoidal, que aporta resistencia al desgaste y absorbe bien el calor producido en la fricción. Sus superficies exterior e interior están mecanizadas para obtener un equilibrado dinámico.
- **Zapatas:** son los elementos que producen la fricción con la superficie interna del tambor. Están revestidas en su pate exterior por los forros de fricción.
- **Bombín hidráulico:** es el elemento encargado de efectuar el desplazamiento lateral de las zapatas para producir el frenado del tambor al recibir la presión hidráulica del circuito de mando.
- **Plato portazapatas:** es la parte fija del conjunto. Está fabricado en chapa de acero embutida y troquelada y está sujeto, mediante unión roscada, al montante de la suspensión. Sobre él se sitúan el bombín hidráulico, las zapatas de freno y los elementos de fijación y regulación.
- **Sistema de reglaje automático:** en el funcionamiento del freno se va produciendo el desgaste de los forros por la fricción con el tambor, lo que provoca que la separación entre la superficie interna del tambor y las zapatas en su posición de reposo sea cada vez mayor. Este sistema de reglaje automático se utiliza para mantener una separación constante entre las zapatas y el tambor.

Zapatas

Están hechas de acero o de una aleación ligera con forma de media luna y revestidas, en su parte exterior, por los **forros de fricción.** Estos forros se fijan a la superficie de la zapata bien mediante remaches embutidos hasta los 3/4 de su espesor, de manera que no rocen con la superficie del tambor, o bien pegados, lo que favorece la amortiguación de las vibraciones y, en consecuencia, la disminución de los ruidos generados en el frenado (figura 11.38).

Por uno de sus lados, las zapatas están en contacto con el bombín, del que reciben la presión hidráulica. Por el otro están sujetas al plato portazapatas de manera flotante mediante un elemento fiador elástico que les permite un desplazamiento de aproximación al tambor, pero les impide el desplazamiento axial manteniéndolas fijas.

Unos resortes provocan el retroceso de las zapatas a su posición de reposo al cesar la fuerza del bombín.

11.38. Zapatas con forros de fricción.

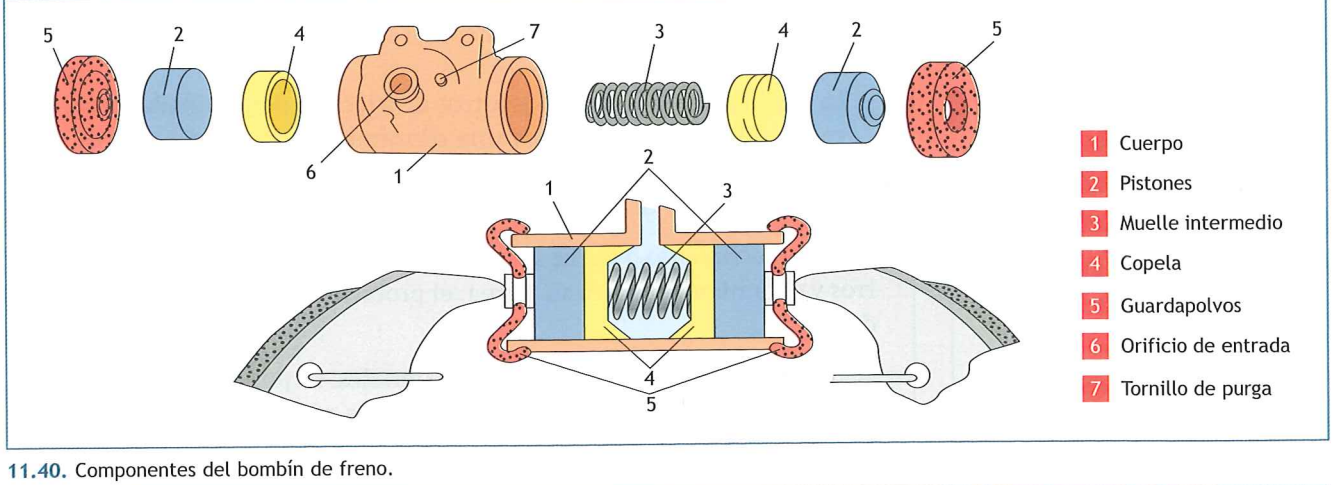
Bombín

El bombín de freno, impulsado por la acción de la presión hidráulica, es el elemento encargado de realizar el desplazamiento lateral de las zapatas.

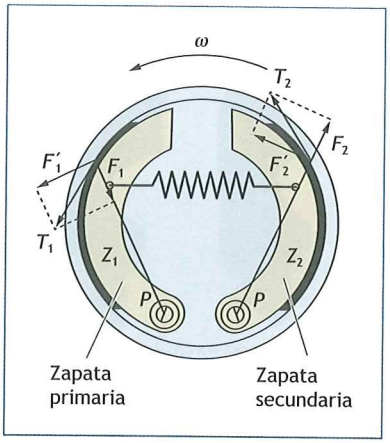
Los componentes básicos de un bombín de freno son los siguientes:

- **Cuerpo:** alberga en su interior todos los componentes y mantiene la fijación al plato portazapatas mediante una unión roscada.
- Dos **pistones:** uno para cada zapata. Provocan el desplazamiento lateral de las mismas.
- **Muelle intermedio:** es el encargado de mantener a distancia los pistones formando una cámara entre ellos.
- Dos **copelas o guarniciones:** aseguran la estanqueidad del conjunto.
- Dos **guardapolvos:** evitan la contaminación del bombín por la entrada desde el exterior de agua, polvo, etc.
- **Orificio de entrada:** es la unión con la canalización del circuito hidráulico.
- **Tornillo de purga:** sirve para evacuar el aire acumulado en el interior de las canalizaciones del circuito hidráulico.

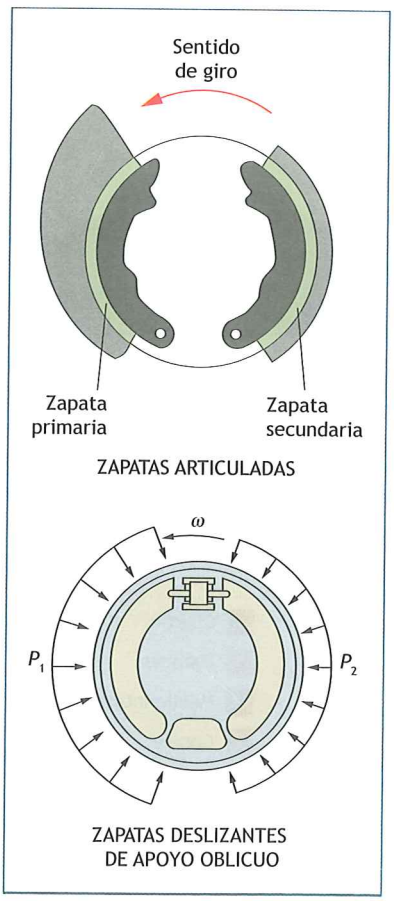
11.39. Bombín de freno.



11.40. Componentes del bombín de freno.



11.41. Fuerzas generadas en el freno de tambor con zapatas articuladas.



11.42. Distribución de presiones sobre la superficie de las zapatas.

9.2 > Características de funcionamiento

La disposición en la que se encuentren las zapatas de freno y el bombín hidráulico de accionamiento provocan una serie de efectos diferentes en el proceso de frenado.

En la disposición con las zapatas articuladas (figura 11.41), la dos van unidas por su parte inferior al plato portazapatas mediante los puntos de articulación (*P*). Si el tambor gira hacia la izquierda, al tener lugar el frenado la zapata de la izquierda se acuña contra el tambor, pero la zapata de la derecha es repelida por él debido a las fuerzas que se generan. La zapata que aumenta su esfuerzo de frenado se denomina zapata primaria y la que lo disminuye, zapata secundaria.

El bombín desplaza las dos zapatas lateralmente contra la superficie del tambor con fuerzas contrarias pero de la misma magnitud. De ello surgen, sobre la superficie de los forros, unas fuerzas tangenciales de rozamiento (T_1 y T_2) que se descomponen en F_1 y F_2, que se generan en el punto de giro (*P*), y F'_1 y F'_2, perpendiculares a estas, que provocan diferentes comportamientos de las zapatas. La zapata de la izquierda aumenta el esfuerzo total de frenado (autofrenado) y la zapata de la derecha disminuye el esfuerzo total de frenado. Cuando el vehículo circula marcha atrás, el efecto descrito se invierte.

El efecto de autofrenado que se produce en la zapata primaria provoca un mayor desgaste de la superficie del forro, así como un desgaste desigual, dado que el esfuerzo no es uniforme (zapatas articuladas de la figura 11.42).

Disponiendo las zapatas simplemente apoyadas por la parte inferior con forma oblicua se consigue una distribución de presiones y un desgaste de los forros constante, además de una mayor duración de los mismos (zapatas deslizantes de la figura 11.42).

Efectos del calor en el freno de tambor

Cuando las frenadas son intensas y muy seguidas, el calentamiento que se origina produce un efecto de acumulación térmica en el freno que puede provocar:

- La dilatación radial del tambor con el consiguiente aumento de la separación de las zapatas.
- La pérdida de eficacia de los forros de fricción, denominada *fading* (desvanecimiento), que provoca una disminución del coeficiente de rozamiento de los mismos y, como consecuencia, una pérdida significativa de rendimiento de los frenos.

El desvanecimiento o *fading* suele ser temporal y, cuando se enfrían los forros y el tambor recupera su forma, el problema desaparece (recuperación del freno).

Según el caso, y con determinados materiales, se puede dar una sobrerrecuperación: al enfriarse el forro se recupera rápidamente un valor muy alto del coeficiente de rozamiento, lo que puede provocar la aparición de ruidos, vibraciones y brusquedad al frenar.

9.3 > Sistemas de reglaje automático del freno de tambor

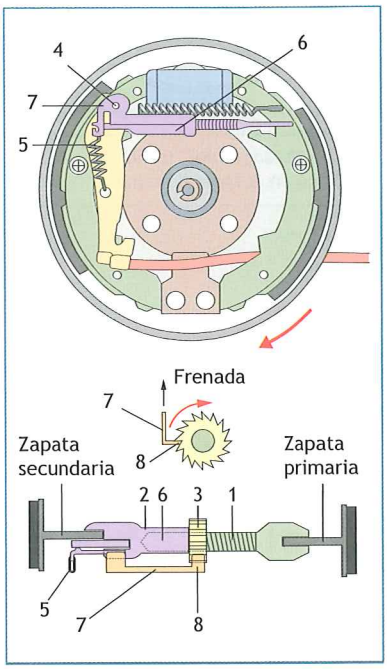
Los forros del freno de tambor sufren un desgaste que hace que la distancia entre las zapatas y el tambor vaya aumentando y, en consecuencia, que también aumente la respuesta en la frenada. Para dar solución a este problema, se incorporan los sistemas de reglaje automático de aproximación de las zapatas.

Sistema de reglaje automático Girling

Este sistema (figura 11.43) dispone de una bieleta (6) de longitud variable situada entre las dos zapatas. La variación de su longitud se produce gracias a una rueda moleteada (3) que hace tope entre un empujador (1) y un vástago (2), que encajan uno en el interior del otro sin roscar. La bieleta se inserta por un lado en la zapata secundaria y en la palanca del freno de mano, y por el otro a la zapata primaria. Sobre la rueda moleteada (3) encaja el diente (8) de una palanca (7), articulada (4) sobre la palanca del freno de mano y que se mantiene en contacto con la bieleta (6) por el resorte (5).

En la acción de frenado, cuando las zapatas se desplazan la bieleta (6) queda liberada. Si hay aumento de distancia, la palanca (7) gira sobre su eje (4) por acción del resorte (5) y provoca el giro de la rueda moleteada (3) del empujador (1) con el diente (8), dando como resultado el aumento de la longitud de la bieleta (6). Si en la aproximación de las zapatas no hay aumento de distancia, la fuerza ejercida por el resorte (5) resultará insuficiente para mover la rueda moleteada (3) y la longitud de la bieleta no se modificará.

Al interrumpir la frenada, las zapatas retornan a su posición de reposo, al igual que la palanca (7), cuyo diente (8) pasa por delante de los dientes de la rueda moleteada (3) sin moverla. La variación de la longitud de la bieleta (6), por tanto, provoca la reducción del juego entre las zapatas y el tambor.

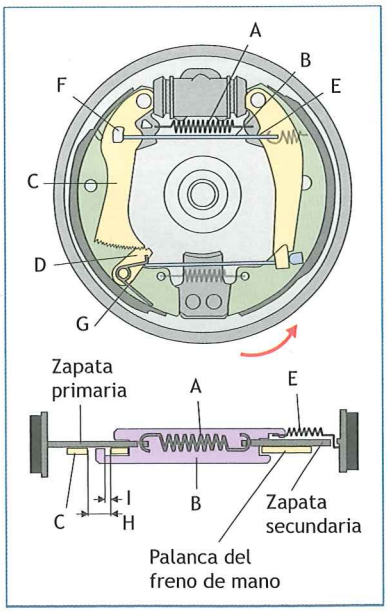


11.43. Sistema de reglaje Girling.

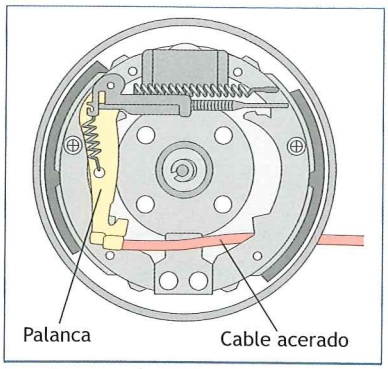
Sistema de reglaje automático Bendix

Este sistema (figura 11.44) dispone de una palanca (C) articulada por su parte superior en la zapata primaria y que, en su parte inferior, posee muescas en forma de diente de sierra que encajan en un gatillo dentado (D) que se engrana por la acción de un resorte (G). La zapata secundaria tiene la bieleta (B) fijada a ella por un resorte (E) y que encaja con la palanca (C) mediante una abertura (F). Ambas zapatas se mantienen en reposo por acción del resorte (A). La holgura del montaje (I) determina la aproximación ideal entre las zapatas y el tambor. En la frenada, cuando el juego entre zapatas y tambor es mayor que el juego (I), las zapatas se separan. La zapata secundaria desplaza la bieleta (B) y mueve la palanca (C) después de pasar la holgura (I). Cuando la palanca (C) se desplaza obliga a pasar un determinado número de dientes sobre el gatillo dentado (D).

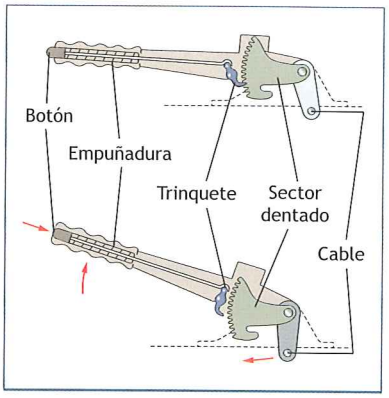
Al interrumpir la frenada, la palanca (C) no puede volver a su posición de inicio por acción del gatillo dentado (D) y queda, por tanto, en la nueva posición impuesta por el reglaje. El resorte (A) obliga a las zapatas a hacer contacto con la bieleta (B) por la acción de la palanca (C) y la palanca del freno de mano.



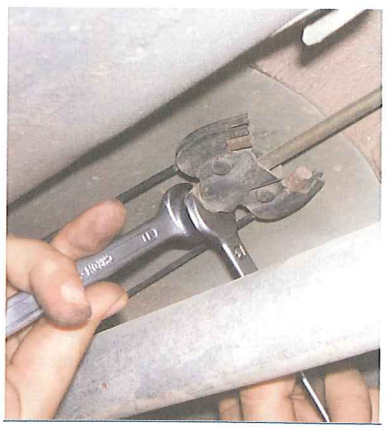
11.44. Sistema de reglaje Bendix.



11.45. Palanca del freno de estacionamiento en el freno de tambor.



11.47. Mando exterior del freno de estacionamiento.



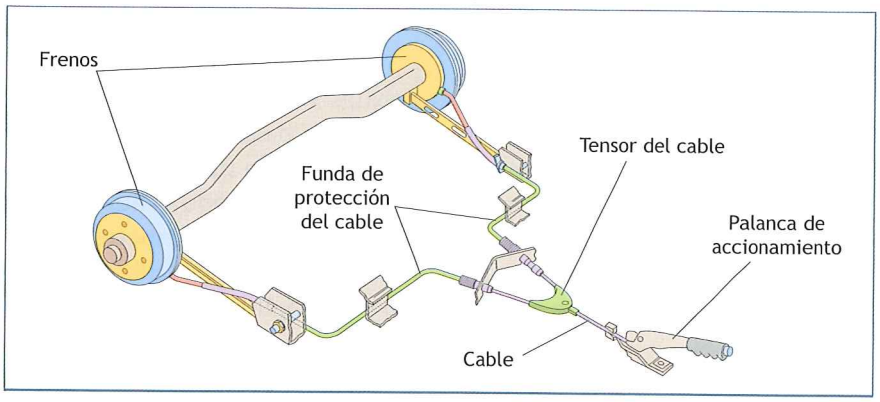
11.48. Ajuste de la tuerca y contratuerca del sistema de freno de estacionamiento.

10 >> El freno de estacionamiento

El freno de estacionamiento en los turismos cumple una doble función: bloquear los frenos del tren trasero para mantener inmovilizado el vehículo y actuar como freno de emergencia si falla el freno de servicio.

El freno de estacionamiento de accionamiento mecánico dispone de los siguientes elementos (figura 11.46):

- **Palanca de accionamiento** manual situada en el interior del vehículo.
- **Cable acerado** que acciona el freno.
- **Tensor del cable** para corregir el desgaste ocasionado por los elementos de fricción.
- **Funda de protección** del cable acerado para evitar el deterioro del mismo por rozamiento o elementos contaminantes exteriores.
- Elementos propios del accionamiento interno del freno de rueda.



11.46. Componentes del freno de estacionamiento de accionamiento mecánico.

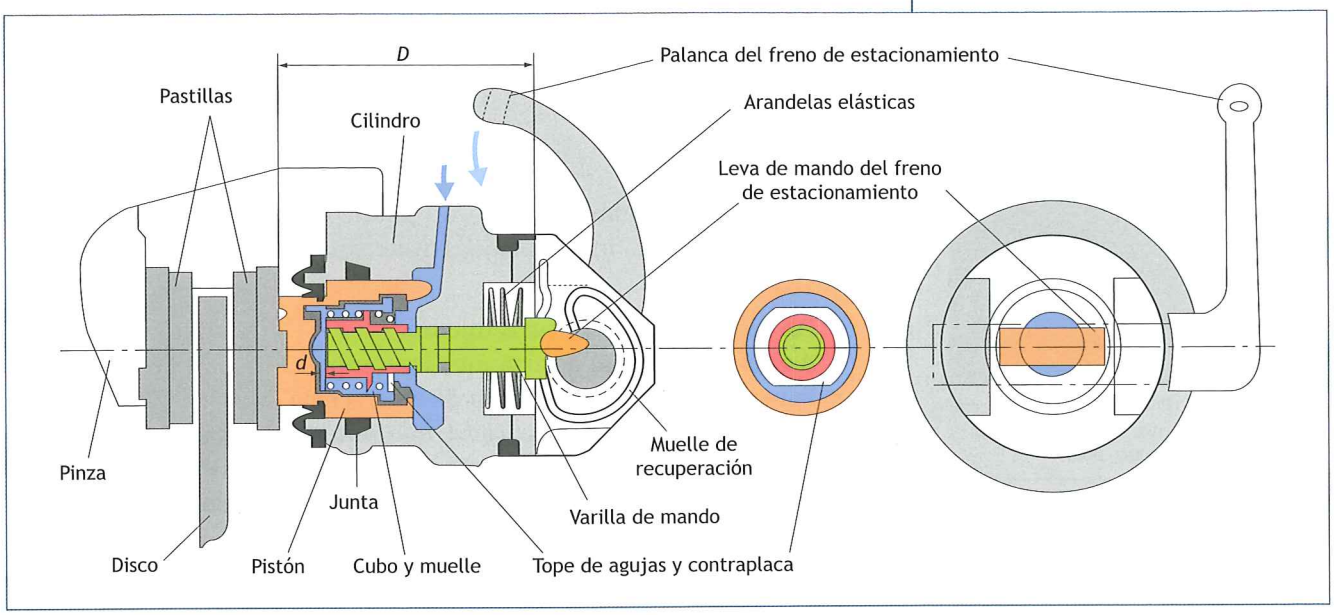
10.1 > Mando exterior del freno de estacionamiento

Para accionar el freno de estacionamiento se dispone de un mando en el interior del vehículo, la **palanca del freno de mano.** Para activarlo, se debe presionar el botón de la empuñadura que libera el trinquete del sector dentado, al mismo tiempo que se levanta la palanca, lo que provoca el desplazamiento del cable acerado y, a su vez, del mecanismo interno de los frenos (figura 11.47). Cuando se suelta el botón, la palanca permanece en esta posición ya que el trinquete queda enclavado en el sector dentado. Para quitar el freno de estacionamiento se vuelve a pulsar el botón y se baja la palanca manualmente hasta su posición de reposo.

Regulación del freno de estacionamiento

Esta regulación depende del tensado del cable de acero que acciona el mecanismo de los frenos y de controlar el punto de anclaje de la palanca del freno de mano (normalmente debe estar entre el 4 y el 6). Por lo general, se realiza mediante una tuerca y una contratuerca que se encuentran en los bajos del vehículo (figura 11.48) o en la propia palanca del freno de mano. Tras realizar la operación, hay que comprobar que las ruedas giran sin estar activado el freno de estacionamiento y que quedan bloqueadas entre los puntos de anclaje regulado.

10.2 > Freno de estacionamiento en freno de disco con aproximación automática de las pastillas



11.49. Componentes del freno de estacionamiento en freno de disco con aproximación automática de las pastillas.

Activación del freno de estacionamiento

El desplazamiento de la palanca del freno de estacionamiento actúa sobre la leva de mando del freno de estacionamiento, comprimiendo las arandelas elásticas.

La varilla de mando actúa sobre el cubo, que, a su vez, incide sobre el pistón y este se apoya sobre la pastilla de freno. El cubo, que tiene tendencia a girarse sobre el vástago, es frenado por el muelle.

El movimiento del vástago desplaza el pistón y las pastillas son presionadas y retenidas contra la superficie del disco.

Desactivación del freno de estacionamiento

Al soltar la palanca del freno de estacionamiento, el conjunto de arandelas elásticas tira del vástago de mando y este, a su vez, tira del cubo.

El cubo en retroceso se apoya sobre el tope de agujas con tendencia a girarse y el muelle, que ahora está concéntrico, se mueve en ese sentido de rotación.

Funcionamiento como freno de servicio

En la acción de frenado la presión hidráulica del circuito desplaza el pistón y arrastra el cubo por medio del tope de agujas y de sus clips de sujeción. El muelle se comprime y el cubo gira. La longitud (*D*) aumenta en proporción al desgaste de las pastillas.

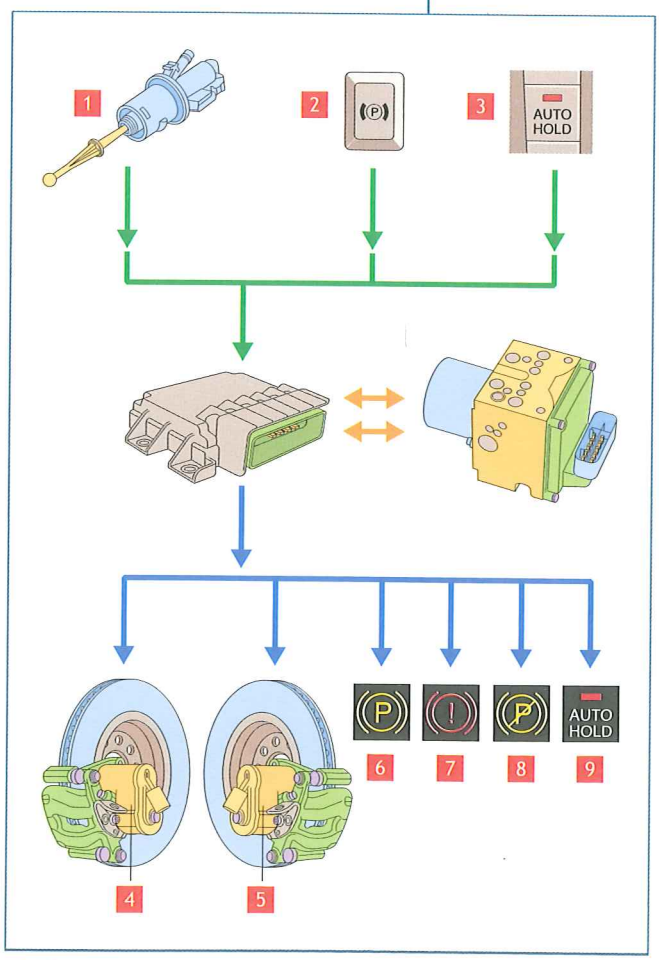
Cuando cesa la presión del circuito de freno, la junta de estanqueidad (anillo obturador del pistón) hace retroceder al pistón. La holgura (*d*) permite este retroceso.

11.50. Pulsador (*P*) de activación del freno de estacionamiento electromecánico y botón de la función *auto hold*.

10.3 > Freno de estacionamiento electromecánico o freno de aparcamiento eléctrico

Las nuevas tecnologías incorporadas al sistema de frenos permiten una fusión de la gestión electrónica y la mecánica para accionar el freno de estacionamiento, lo que supone las siguientes mejoras con respecto al sistema convencional:

- La palanca de mano es sustituida por un pulsador.
- Se dispone de gestión electrónica e interconexión mediante CAN bus. Esta mejora aporta más funciones útiles y un aumento del confort en la conducción:
  - Función de freno de aparcamiento.
  - Asistente dinámico de arranque en rampa.
  - Función dinámica de frenada de emergencia.
  - Función de asistencia *auto hold*, que retiene el vehículo automáticamente en cada parada, evitando los continuos usos del freno de mano y del freno de servicio en estas situaciones, y ayuda en las fases de arrancada.
- Se controla y vigila el funcionamiento del sistema.



11.51. Esquema de los componentes de un freno de estacionamiento electromecánico.

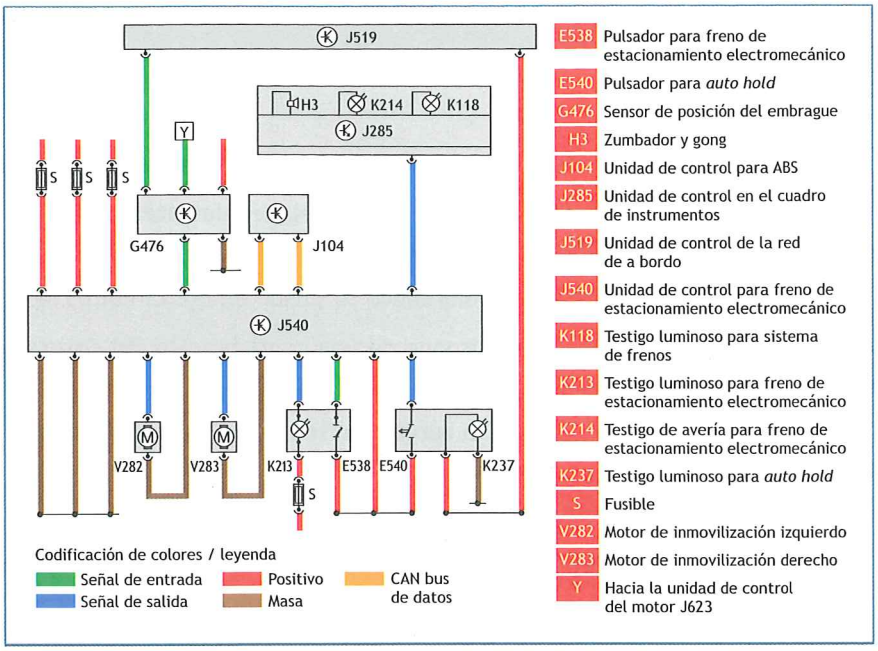
Componentes del sistema

El sistema de freno de estacionamiento electromecánico está formado por los siguientes elementos (figura 11.51):

- **Sensor de la posición del embrague** (1): informa de la posición del embrague para hacer posible la función del asistente de arrancada en rampa.
- **Interruptor para el freno de estacionamiento** (2): activa y desactiva el sistema.
- **Interruptor para *auto hold*** (3): activa y desactiva esta función.
- **Motores de inmovilización de las ruedas traseras** (4 y 5): se encargan de presionar las pastillas contra el disco de freno.
- **Testigo luminoso del freno de estacionamiento** (6): indica la activación del sistema. Está situado en el propio pulsador de la función.
- **Testigo luminoso del sistema de frenos** (7): se ilumina cuando se activa el sistema. Está situado en el cuadro de instrumentos.
- **Testigo de avería del freno de estacionamiento** (8): se ilumina cuando se produce un mal funcionamiento del sistema. Está situado en el cuadro de instrumentos.
- **Testigo luminoso de *auto hold*** (9): indica la activación de la función *auto hold*. Está situado en el propio pulsador de la función.
- **Unidades de control** del freno de estacionamiento y del ABS.

Funcionamiento electromecánico del sistema

Cuando se activa el freno de estacionamiento, la unidad de control del sistema manda una señal de excitación al motor eléctrico. Este acciona el husillo a través de las reductoras de correa dentada y del piñón oscilante. Al girar, el husillo provoca que la tuerca de presión avance por medio de la rosca del husillo. La tuerca de presión hace tope y presiona el émbolo de freno contra las pastillas, que, a su vez, presionan el disco de freno. Entonces el retén se deforma en dirección a las pastillas. La presión ejercida provoca un aumento de la corriente eléctrica absorbida por el motor, pero si esta sobrepasa un límite, la unidad de control interrumpe la alimentación de la corriente.



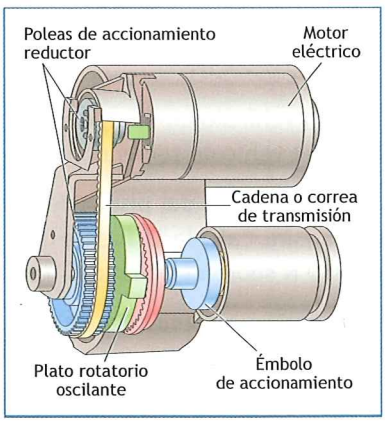
11.52. Esquema eléctrico de las funciones del freno de estacionamiento electromecánico.

Para desactivar el freno, la unidad de control cambia la polaridad de alimentación del motor eléctrico, haciendo que este gire en sentido contrario. La tuerca retorna a su posición inicial y el émbolo de freno deja de ejercer presión. El retén recupera su forma, lo que, sumado a un eventual desequilibrio del disco, ayuda a retraer el émbolo de freno. Así, las pastillas liberan el disco.

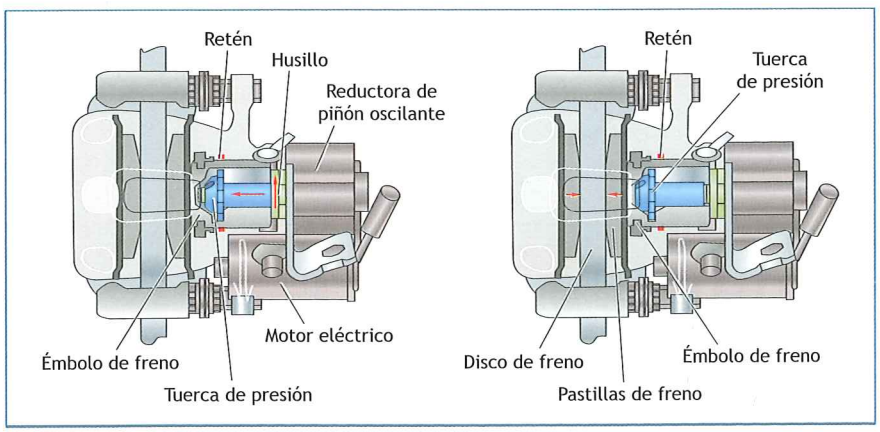
Funcionamiento hidráulico del sistema

La presión generada por el circuito hidráulico obliga al émbolo de freno a desplazarse y a hacer presión sobre las pastillas de freno, que se apoyan contra las superficies del disco. Este desplazamiento deforma el retén.

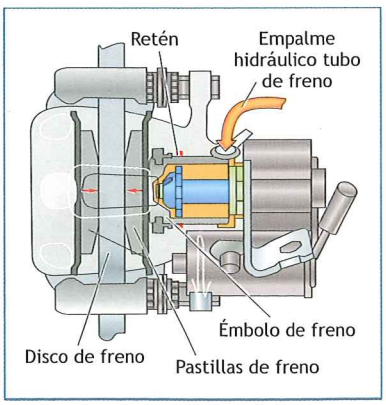
Al finalizar la acción de frenado y descender la presión del líquido de frenos, el émbolo retrocede por la recuperación de forma del retén y un eventual desequilibrio del disco de freno. De este modo, las pastillas liberan el disco.



11.53. Motor de inmovilización con reductoras.



11.54. Funcionamiento electromecánico del freno de estacionamiento electrónico.



11.55. Funcionamiento hidráulico del freno de estacionamiento electrónico.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

1·· ¿Cómo influye el estado de la superficie de la calzada en la distancia de parada?

2·· ¿Por qué el efecto de frenado en las ruedas del tren delantero no posee la misma magnitud que el de las ruedas del tren trasero aun teniendo ambos frenos las mismas dimensiones?

3·· ¿Por qué el sistema de mando hidráulico se divide en dos circuitos independientes?

4·· ¿En qué tipo de vehículos se dispone de una configuración del sistema de frenos dual de tipo diagonal? Dibuja el esquema correspondiente.

5·· ¿Cuál es la misión que cumple la bomba de freno? Explica la función y el funcionamiento de los orificios de compensación.

6·· ¿Qué exigencias debe cumplir el líquido de frenos?

7·· Enumera los tipos de frenos de disco y explica brevemente el funcionamiento y las características de cada uno.

8·· Indica la función y los componentes de una pastilla de freno.

9·· ¿Cuál es la función del anillo obturador del pistón de un freno de disco?

10·· Explica las características del funcionamiento de un freno de tambor.

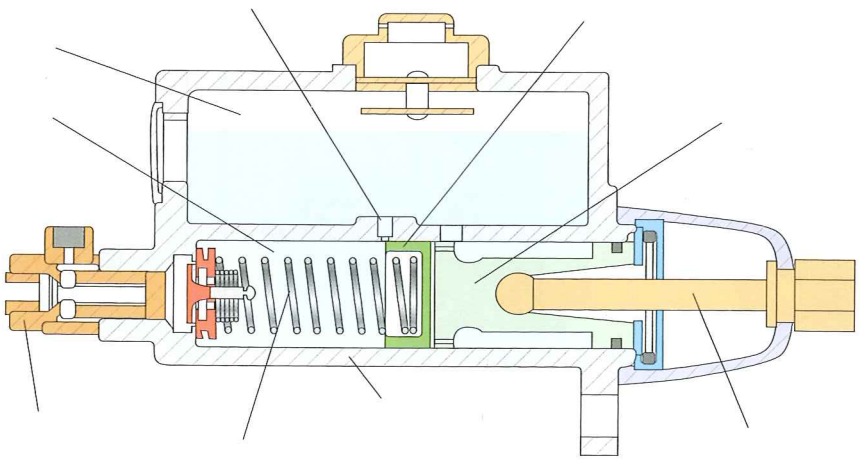
.: APLICACIÓN :.

1·· Un vehículo circula por una pendiente del 3% a una velocidad de 80 km/h. ¿Qué distancia se necesita para detener el vehículo teniendo en cuenta el tiempo de reacción del conductor?

2·· El diámetro del pistón de una bomba de freno es de 19 mm y el diámetro del pistón del cilindro de la rueda es de 23 mm. Calcula la fuerza que se comunica al pistón del freno de la rueda cuando el conductor ejerce una fuerza de 350 N sobre el pedal del freno, sabiendo que la relación de los brazos de palanca de este pedal es de 1:5.

3·· Localiza e identifica los componentes del freno de servicio y del freno de estacionamiento en los vehículos automóviles de turismo que se encuentren en tu aula taller. Identifica también el tipo de configuración dual del mando hidráulico.

4·· Indica el nombre de los componentes de la bomba de freno señalados en la siguiente figura:



Caso final

Sustitución de las pastillas de los frenos de disco del tren delantero

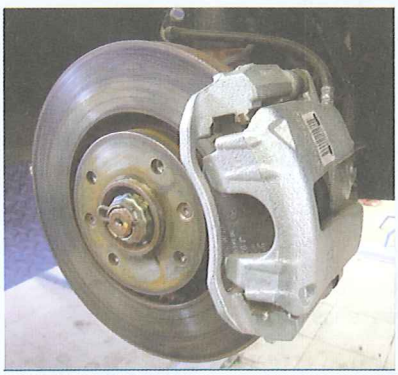
•• Tenemos en el taller un vehículo con las pastillas de los frenos delanteros cristalizadas, por lo que se deben sustituir. Realiza esta operación.

Solución •• En primer lugar, al realizar trabajos de mantenimiento en el sistema de frenos de los vehículos, se tendrán en cuenta las siguientes normas de seguridad e higiene:

- Evitar el contacto del líquido de frenos con los ojos. Para ello, lavarse bien las manos después de manipularlo. En caso de contacto, lavarse los ojos inmediatamente con abundante agua fría durante al menos 15 minutos.
- En caso de ingestión accidental de líquido de frenos, beber abundante agua y solicitar atención médica de inmediato.
- Evitar la inhalación de las partículas de los materiales de fricción, ya que pueden ser perjudiciales.
- En el caso de derramar líquido de frenos sobre la pintura del vehículo, lavar inmediatamente la zona afectada con agua fría.

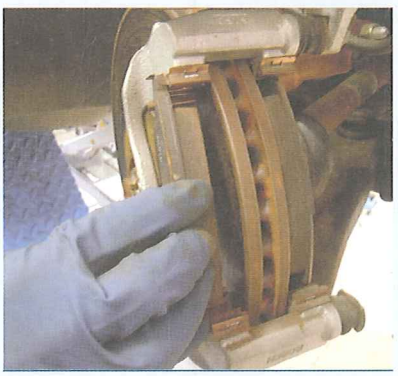
Para sustituir las pastillas del freno del tren delantero procedemos de la siguiente forma:

1. Aflojamos los tornillos de la rueda, subimos el vehículo sobre un elevador y extraemos la rueda.
2. Aflojamos y extraemos el tornillo de fijación interior al estribo de la pinza de frenos.
3. Basculamos la pinza de freno sobre la fijación superior al estribo. Hemos de tener en cuenta la precaución de sujetar convenientemente la pinza para evitar daños en el manguito flexible del freno (figura 11.57).
4. Desmontamos las pastillas de freno extrayéndolas de su alojamiento (figura 11.58).



11.56. Pinza de freno flotante.

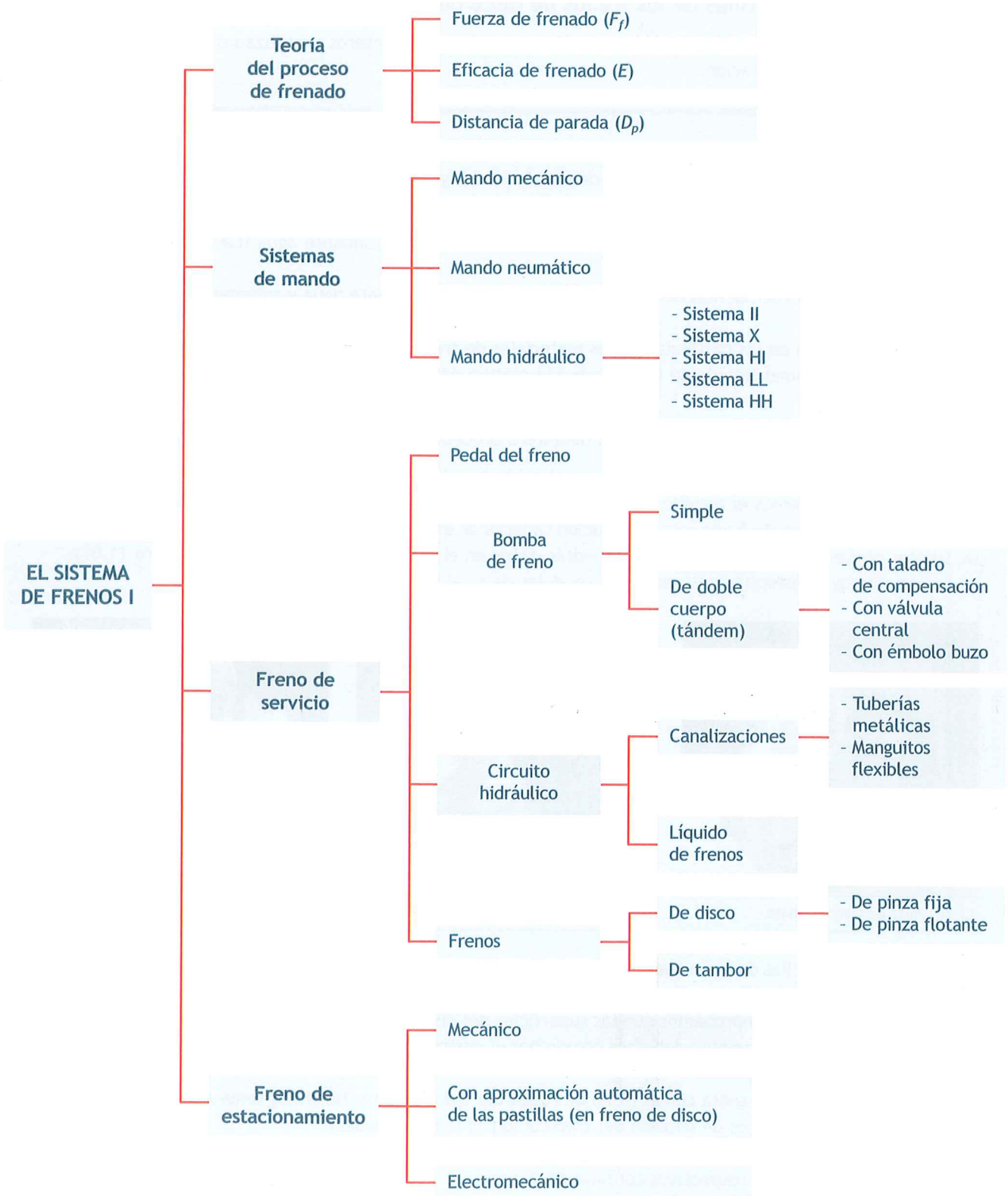
11.57. Sujeción de la pinza de freno una vez desmontada.



11.58. Extracción de las pastillas de freno.

5. Instalamos las pastillas de freno nuevas haciendo retroceder al pistón con el útil adecuado. Al llevar esto a cabo, el líquido de frenos de la canalización se desplaza hacia el depósito, por lo que debemos comprobar su nivel.
6. Antes del montaje, comprobamos que las superficies del disco de freno están limpias y sin restos de suciedad, grasa o herrumbre. También debemos comprobar el deslizamiento correcto de la pinza y el estado de los guardapolvos de sus guías.
7. Procedemos de igual manera con el freno de rueda del lado opuesto. Debemos tener siempre en cuenta la sustitución de los elementos de fricción del tren completo (ambas ruedas).
8. Montamos la pinza de freno, siguiendo el proceso inverso al de desmontaje, y la rueda del vehículo, dando el apriete adecuado a sus respectivos tornillos de fijación.

Ideas clave


EL SISTEMA DE FRENOS I
Teoría del proceso de frenado
Fuerza de frenado (F_f)
Eficacia de frenado (E)
Distancia de parada (D_p)
Sistemas de mando
Mando mecánico
Mando neumático
Mando hidráulico
- Sistema II
- Sistema X
- Sistema HI
- Sistema LL
- Sistema HH
Freno de servicio
Pedal del freno
Bomba de freno
Simple
De doble cuerpo (tándem)
- Con taladro de compensación
- Con válvula central
- Con émbolo buzo
Circuito hidráulico
Canalizaciones
- Tuberías metálicas
- Manguitos flexibles
Líquido de frenos
Frenos
De disco
- De pinza fija
- De pinza flotante
De tambor
Freno de estacionamiento
Mecánico
Con aproximación automática de las pastillas (en freno de disco)
Electromecánico

Normativa para frenos ECE R90

El origen de la ECE R90 se encuentra en la necesidad de la Administración Europea de controlar y garantizar la calidad de los elementos del sistema de frenos, en concreto del material de fricción de las pastillas y las zapatas de freno. El reglamento se encarga de establecer unos estándares mínimos de calidad de estos materiales de fricción, tanto del producto final como del proceso de fabricación.

El reglamento 90 está englobado dentro de la directiva 98/12/CE, que es la encargada de definir las pruebas que deben pasar los frenos de cualquier vehículo para ser homologados por el fabricante y poder ser vendidos.

En la actualidad, el R90 es el estándar mínimo de calidad que se debe exigir a cualquier material de fricción, ya se trate de pastillas o de zapatas de freno.

Esta normativa entró en vigor en la Comunidad Económica Europea en octubre de 1999. Como su introducción y cumplimiento se realizó de forma escalonada, no tuvo un carácter obligatorio hasta finales de marzo de 2001. De esta forma, a partir del 2001 y en todos los estados miembros de la Unión Europea, quedó prohibida la venta de cualquier pastilla o zapata de freno que no cumpliera con los requisitos de la normativa.

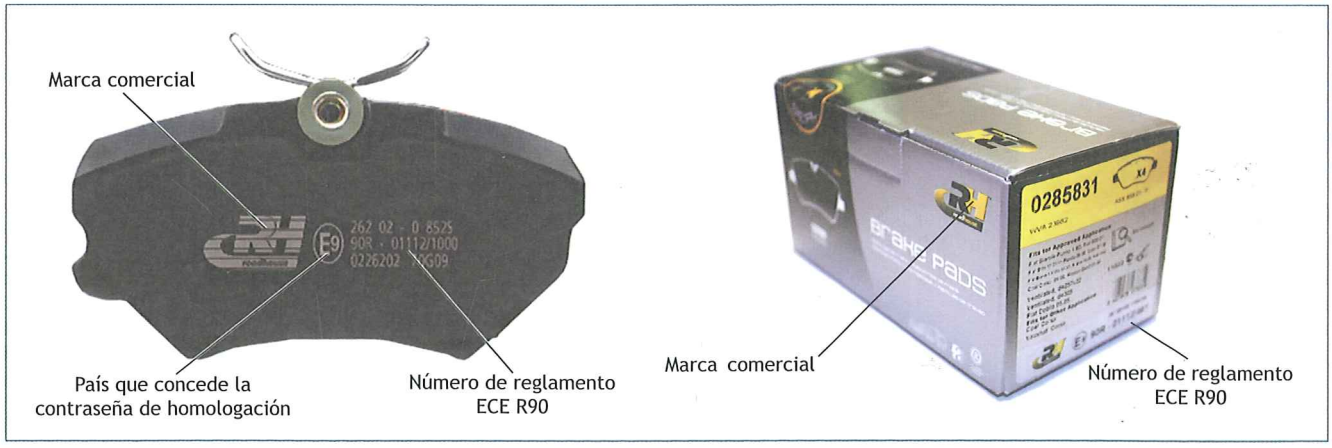
En España, la ECE R90 es de obligatorio cumplimiento para todos los vehículos matriculados, por primera vez, con la matrícula de tres letras.

ETIQUETADO

El etiquetado del producto también es un factor a tener en cuenta, ya que es la carta de presentación del juego de pastillas o zapatas de freno. El etiquetado de la caja y las pastillas nos indica una serie de datos básicos:

- El de la caja informa de los vehículos en los que se puede montar el producto, el número de pastillas por caja y el eje de aplicación de las mismas. Por otro lado, debe indicar visiblemente si cumple con la normativa y el número de reglamento de la ECE R90.
- El de las pastillas debe señalar el número del reglamento de las ECE R90 y la contraseña del país de homologación. Las contraseñas de homologación de las pastillas deben coincidir con las de la caja; de no ser así, ese material no cumple el reglamento R90.

Fuente: RH Roadhouse



11.59. Una caja y una pastilla que cumplen con el reglamento R90.

unidad 12

El sistema de frenos II. Mantenimiento

SUMARIO

- Amplificadores del mando de freno o servofrenos
- Reguladores de la presión de frenado
- Elementos electrónicos del pedal del freno
- Mantenimiento del sistema de frenos

OBJETIVOS

- Conocer los amplificadores del mando de freno más importantes, sus componentes y su funcionamiento.
- Entender el funcionamiento de los distintos reguladores de presión de frenado.
- Saber cuáles son los elementos electrónicos del pedal del freno.
- Ser capaz de realizar las comprobaciones necesarias para llevar a cabo el mantenimiento del sistema de frenos.

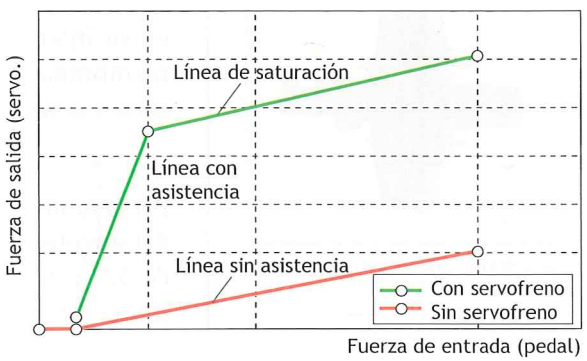
1 >> Amplificador del mando de freno o servofreno

El servofreno es un mecanismo que proporciona asistencia en el proceso de frenado, amplificando y modulando la fuerza ejercida por el conductor al pisar el pedal de freno.

El servofreno multiplica el esfuerzo de frenado ejercido por el conductor sobre el pedal del freno, reduciendo considerablemente la fuerza que se debe realizar sobre el pedal. Además modula gradualmente la fuerza de frenado resultante y proporciona al pedal el tacto necesario para poder sentir su desplazamiento (figura 12.1).

Los servofrenos utilizados en los vehículos son de dos tipos:

- **Servofrenos por vacío:** utilizan como fuente de energía la depresión generada en el colector de admisión o mediante bombas de vacío específicas.
- **Servofrenos hidráulicos:** utilizan la presión hidráulica generada por una bomba.

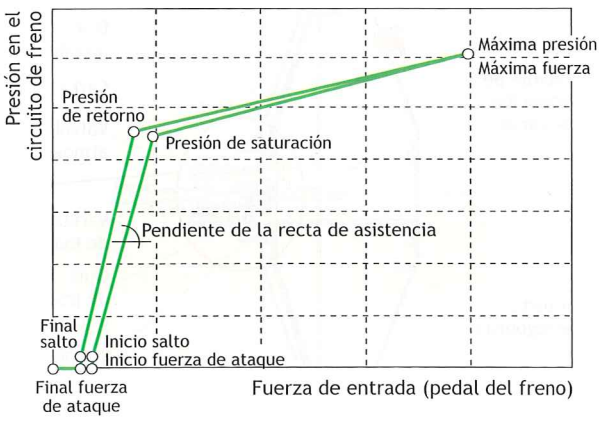


12.1. Diagrama de la fuerza de entrada y la fuerza de salida de un servofreno.

1.1 > Gráfica del funcionamiento del servofreno

En la gráfica del funcionamiento servofreno se relaciona la presión hidráulica generada en el circuito de freno con la fuerza que se aplica sobre el pedal del freno (figura 12.2). Sus puntos característicos son los siguientes:

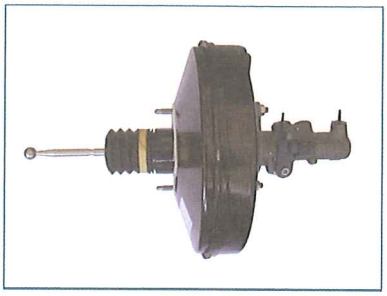
- **Fuerza de ataque (kg):** es la fuerza de entrada al servofreno que proporciona el pedal del freno al ser accionado y que provoca la obtención de presión de salida en el circuito hidráulico de freno. En un principio hay un recorrido muerto del pedal de aproximadamente 2 mm, dependiendo del fabricante, en el cual no se obtiene ninguna presión de frenado.
- **Salto (bar):** es el momento en el que se comienza a obtener presión en el circuito de freno. Existen diferencias dependiendo del fabricante.
- **Pendiente de la recta de asistencia:** es la pendiente de la gráfica en la que el servofreno proporciona su asistencia. Depende del fabricante y del vehículo.
- **Presión de saturación (bar):** es el punto que determina la presión máxima de asistencia del servofreno.
- **Máxima presión (bar):** es la presión obtenida en el circuito de freno por el desplazamiento máximo del pedal del freno y de la bomba de freno.
- **Presión de retorno (bar):** es la presión de frenado que se obtiene cuando el pedal del freno retrocede a la posición de inicio de asistencia por parte del servofreno.



12.2. Gráfica característica del funcionamiento del servofreno.

2 >> Servofreno de vacío (Mastervac)

El servofreno de vacío o Mastervac utiliza para su funcionamiento la presión de la atmósfera y la depresión que se genera en el colector de admisión del motor o en bombas de vacío. Se sitúa entre el pedal y la bomba de freno.

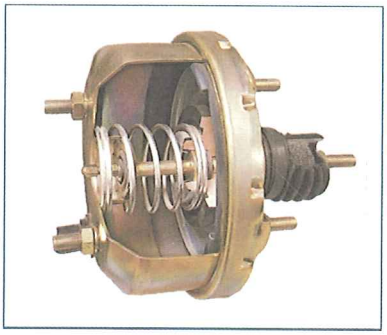


12.3. Servofreno de vacío o Mastervac unido a la bomba de freno.

Su principio de funcionamiento se basa en la diferencia de presiones entre el vacío (P_1) y la presión atmosférica (P_2) creada entre las cámaras dispuestas en su interior. Esta, multiplicada por la superficie (S) eficaz del disco de membrana del servo, da como resultado el esfuerzo (F) de asistencia que suministra (figura 12.5):

$$F = (P_2 - P_1) \cdot S$$

Por lo tanto el esfuerzo ejercido sobre el pedal del freno aplicado a la entrada del servofreno se transforma en una fuerza de salida multiplicada (relación de 5,5 a 9) que se aplica mediante un vástago de presión a la bomba de freno. Esta fuerza de salida se intensifica de forma proporcional a la fuerza que aplica el pie hasta llegar al punto de saturación del servofreno, cercano a la presión de bloqueo de las ruedas delanteras (entre 60 y 100 bares). A partir de ese punto la única fuerza que se puede aportar a la bomba de freno es la proporcionada por el conductor sobre el pedal del freno.



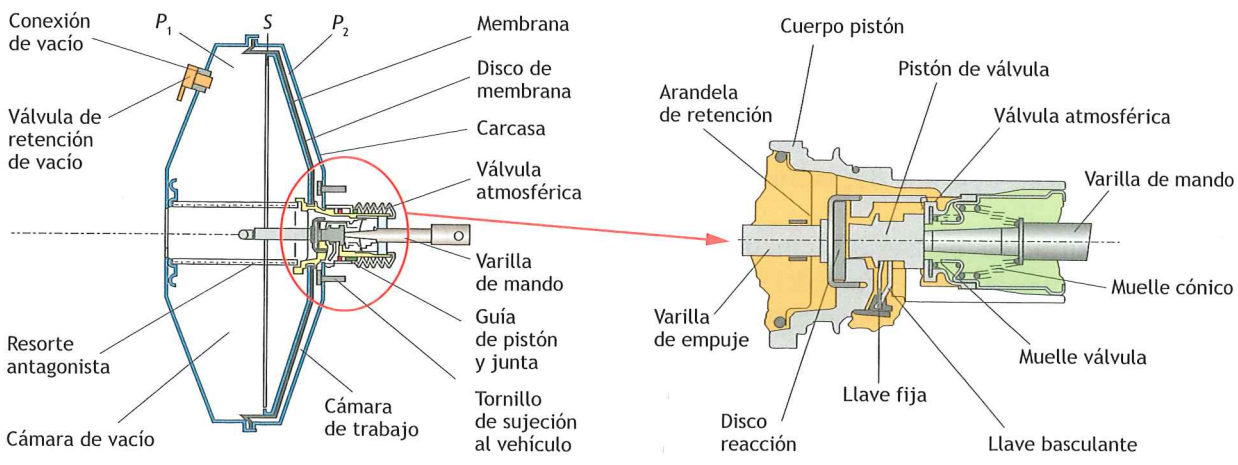
12.4. Sección interna del servofreno de dos cámaras y vista del resorte antagonista.

Existen varios tipos de servofreno de vacío para circuitos de freno convencionales y ABS:

- Servofreno de dos cámaras *(single booster)*.
- Servofreno de dos etapas *(dual rate)*.
- Servofreno de cuatro cámaras o en tándem *(tandem booster)*.

2.1 > Servofreno de dos cámaras *(single booster)*

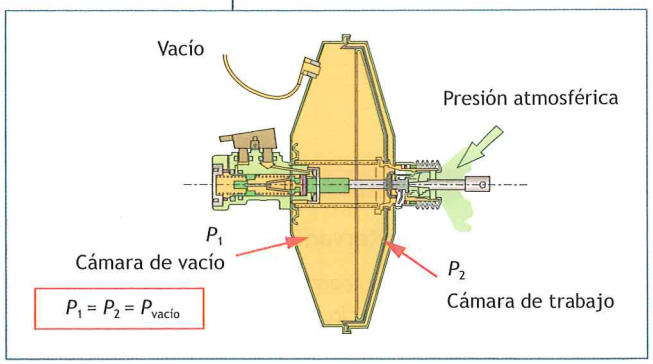
Este servofreno se compone principalmente de dos cámaras, una de trabajo y otra de vacío, separadas por interposición de un disco de membrana que produce la estanqueidad entre ambas cuando se acciona el pedal del freno.



12.5. Componentes del servofreno Mastervac.

Posición de reposo (figura 12.8)

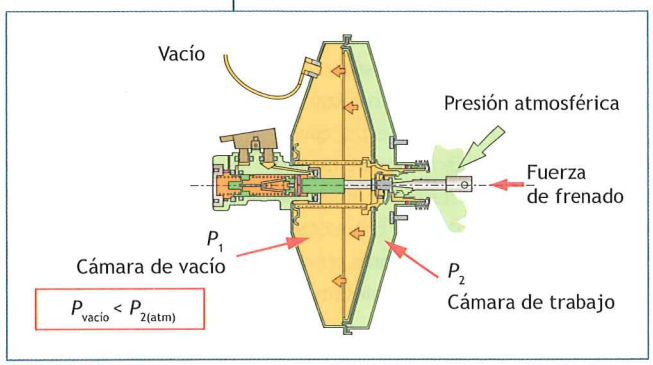
En la posición de reposo, mientras el conductor no pise el pedal del freno, el cuerpo del pistón se encuentra retrasado debido a la presión del resorte antagonista. Las dos cámaras están comunicadas mediante la canalización que abre la válvula A, por lo que en ambas existe depresión. La válvula B no permite la entrada de presión atmosférica en la cámara de trabajo.



12.6. Posición de reposo del servofreno Mastervac.

Posición de aislamiento (figura 12.9)

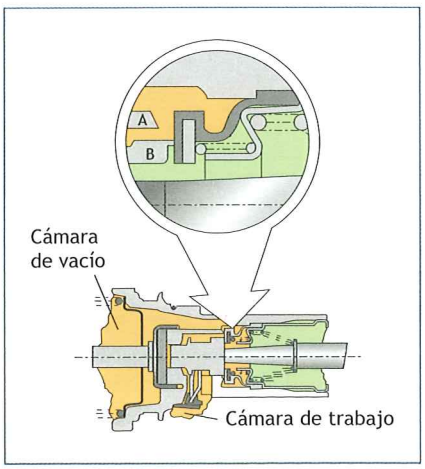
Cuando comienza a pisarse el pedal del freno, se genera una fuerza que desplaza la varilla de mando del servofreno creando a su vez una fuerza de ataque que provoca el cierre de los contactos A y B. De este modo aísla las dos cámaras; la de trabajo además seguirá aislada de la presión atmosférica del exterior. Como resultado de este pequeño desplazamiento surge un equilibrio entre varias fuerzas: la de entrada del pedal del freno, la de asistencia del servofreno y la de reacción de la bomba de freno. Un aumento de la fuerza de entrada desde el pedal del freno provocará la ruptura de este equilibrio.



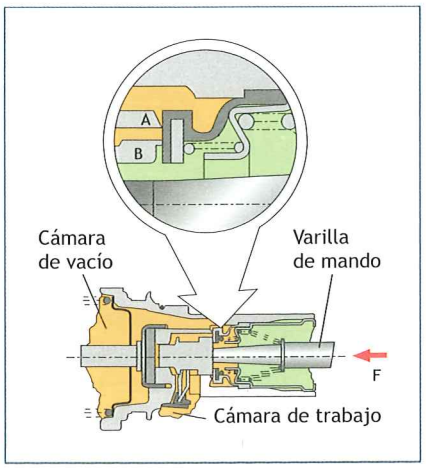
12.7. Posición de frenado del servofreno Mastervac.

Inicio del frenado (figura 12.10)

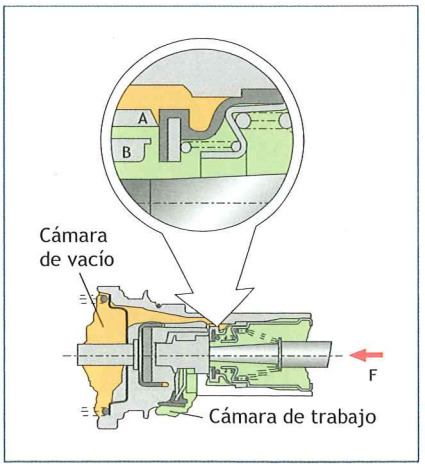
Al aplicar una fuerza en el pedal del freno mayor que la fuerza de ataque del servofreno se abre al contacto B, poniendo en comunicación la cámara de trabajo con la presión atmosférica del exterior y haciendo descender el nivel de vacío en la cámara de trabajo. Así, la diferencia de presiones entre las dos cámaras provoca el desplazamiento del disco de membrana hacia la bomba de freno, actuando sobre la varilla de empuje que acciona dicha bomba, lo que provoca un aumento rápido de la presión en el circuito de freno denominado salto.



12.8. Posición de reposo del servofreno Mastervac.



12.9. Posición de aislamiento del servofreno Mastervac.



12.10. Inicio del frenado del servofreno Mastervac.

Funcionamiento del Mastervac

El servofreno Mastervac solo proporciona asistencia en presencia de vacío y, en consecuencia, con el motor en funcionamiento. Si bien, aunque asegura el funcionamiento de la bomba de freno con falta de vacío, el alto grado de asistencia que proporciona en su funcionamiento normal hace que el esfuerzo de accionamiento que se debe realizar sobre el pedal del freno en estas condiciones aumente mucho. Por este motivo no deberá desconectarse el motor en ninguna situación crítica de conducción, como una bajada de pendientes pronunciadas o antes de parar completamente el vehículo.

Durante la aplicación de la presión por parte de la bomba, se produce una fuerza de reacción que se transmite al pistón de válvula del servofreno que tiende a cerrar la entrada de presión atmosférica y a abrir la comunicación de vacío. Esta fuerza permite controlar la fuerza que se aplica a los frenos.

Frenado constante (figura 12.11)

Una vez lograda la deceleración deseada en el vehículo, cuando la fuerza sobre el pedal del freno permanece constante se consigue la posición de equilibrio, con los contactos A y B cerrados, dado que el conjunto membrana-varilla está desplazado hacia la bomba de freno. Toda acción que tienda a separar el pistón de válvula de su posición de equilibrio genera una reacción en sentido contrario que equilibra de nuevo el conjunto.

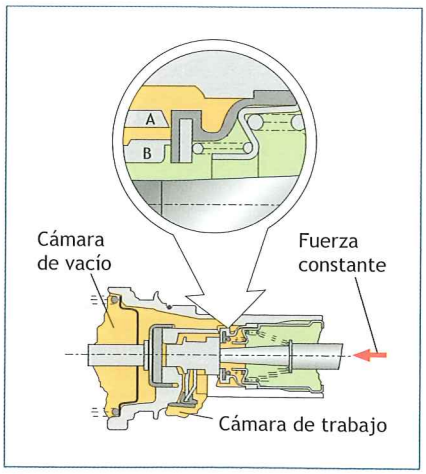
Frenado máximo (figura 12.12)

En el caso de una fuerza de frenado elevada, en la que el pedal del freno se acerca al máximo de su recorrido, el conjunto membrana-varilla no puede desplazarse más hacia la bomba de freno, por lo que el servofreno habrá llegado al máximo de su asistencia. Por lo tanto, la única fuerza de asistencia que se podrá conseguir será la fuerza aplicada por el conductor sobre el pedal del freno. Este es el denominado punto de saturación del servofreno.

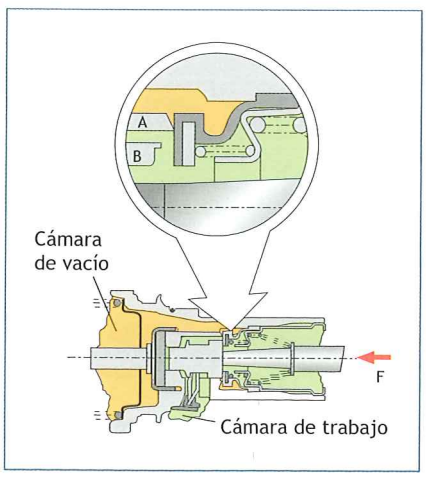
Si se reduce la fuerza de entrada, se abre la comunicación entre las cámaras y se introduce vacío en la cámara de trabajo. Esto provoca una disminución de la diferencia de presiones entre las cámaras y una reducción de la asistencia, lo que da lugar a que surja de nuevo la posición de equilibrio.

Retorno a la posición de reposo (figura 12.13)

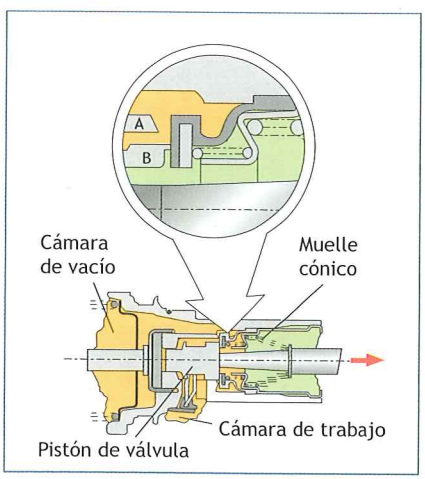
Al soltar el pedal del freno, la varilla de mando retrocede por la fuerza del muelle cónico y desplaza al mismo tiempo en su recorrido el pistón de válvula, lo que provoca el desplazamiento del contacto B, que cierra la entrada de presión atmosférica, y del contacto A, que abre la comunicación con el vacío. Las dos cámaras están de nuevo comunicadas y el vacío (depresión) vuelve a circular de un lado a otro del disco de membrana, el cual, por la fuerza del resorte antagonista, regresa a su posición de reposo.



12.11. Posición de frenado constante del servofreno Mastervac.



12.12. Frenado máximo del servofreno Mastervac.



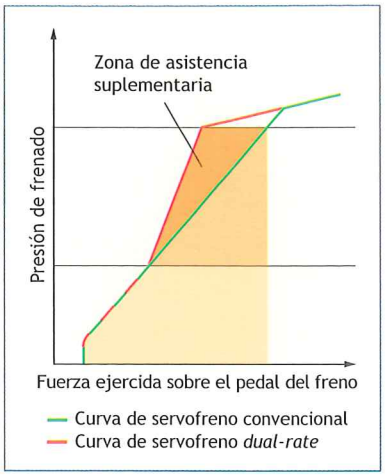
12.13. Retorno a la posición de reposo del servofreno Mastervac.

2.2 > Servofreno con dos etapas *(dual rate)*

La estructura interna de este modelo de servofreno se ha modificado para permitirle dos niveles diferentes de asistencia (figura 12.14):

- Si la fuerza de entrada proporcionada por el pedal del freno es baja, el servofreno aporta una fuerza media de asistencia. En este caso su comportamiento es similar a un servofreno convencional (línea a trazos rojo-verde 12.14).
- Si la fuerza de entrada se incrementa sustancialmente y supera un valor preestablecido (aprox. 50 bares), la asistencia del servofreno se incrementa notablemente para una misma fuerza ejercida sobre el pedal del freno. La relación de asistencia suplementaria es aproximadamente 12:1.

Por este motivo, a este tipo de servofreno también se le denomina de dos velocidades o *dual rate* y proporciona dos gráficas diferentes de trabajo. Gracias a esto se consigue una mejora en el confort de conducción y un aumento de la sensibilidad por parte del conductor al pisar el pedal del freno, ya que siempre se dispone de una asistencia proporcional a la fuerza que se aplica.



12.14. Gráfica de funcionamiento del servofreno de dos etapas *(dual rate)*.

2.3 > Servofreno de cuatro cámaras o en tándem *(tandem booster)*

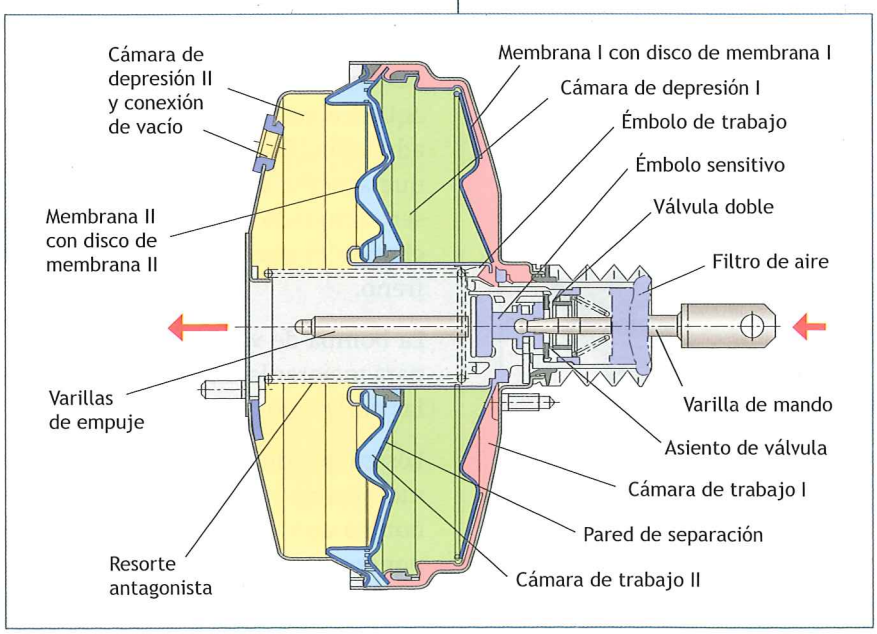
Este servofreno proporciona una amplificación de la fuerza de frenado aún mayor que el servofreno de dos cámaras.

Posee cuatro cámaras: dos de depresión y dos de trabajo dispuestas una a continuación de la otra. Entre la cámara de depresión I y la cámara de trabajo II hay una pared de separación.

La varilla de mando del pedal del freno transmite al émbolo de trabajo la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal y la salida de asistencia del servofreno se realiza por la varilla de empuje sobre la bomba de freno.

El funcionamiento de este servofreno es muy parecido al servofreno convencional de dos cámaras. Sin accionamiento del pedal del freno, se dispone de vacío en las cuatro cámaras a través de la conexión de vacío.

Al iniciarse la fase de frenado, el émbolo sensitivo se separa de la guarnición de la válvula doble, lo que provoca la entrada de aire exterior a presión atmosférica que se introduce en las cámaras de trabajo I y II, creando una diferencia de presiones entre las cámaras de depresión y las de trabajo. Esta diferencia de presiones entre las cámaras origina la asistencia e intensificación de la fuerza de frenado por el servofreno sobre la bomba de freno.



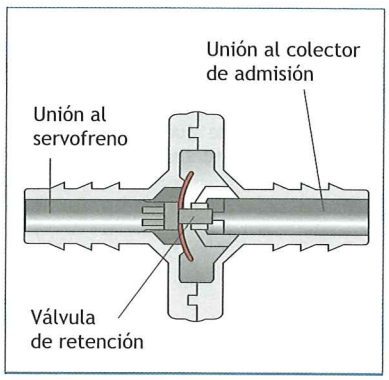
12.15. Estructura del servofreno en tándem.

3 >> Sistemas de vacío del servofreno Martervac

Las fuentes de vacío que utilizan los servofrenos Mastervac dependen del tipo de motor del vehículo:

- En los motores de gasolina se aprovecha el vacío que se genera en el colector de admisión durante la carrera descendente de los pistones. Algunos vehículos también poseen bombas eléctricas de vacío que sirven como apoyo.
- En los motores diésel se utilizan bombas mecánicas de vacío.

3.1 > Válvula unidireccional de vacío (válvula de retención)



12.16. Válvula de retención de vacío.

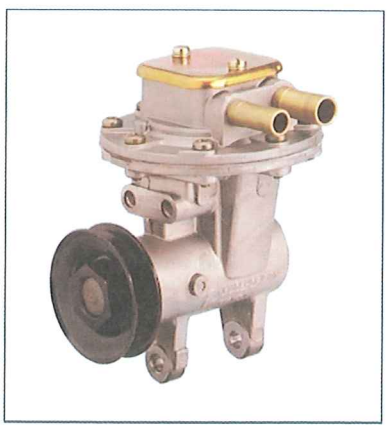
Los servofrenos por vacío disponen de una válvula de retención que puede ir instalada en su carcasa en la entrada de vacío o en el tramo de la canalización desde el elemento generador del vacío al conducto de vacío del servofreno.

Si hay presencia de vacío en el sistema, la válvula de retención permanece abierta. Cuando se deja de generar vacío, la válvula de retención se cierra, conservando una reserva de vacío en el servofreno. En los vehículos con motor de gasolina ejerce de barrera contra los vapores del combustible, impidiendo que lleguen al interior del servofreno y que puedan dañar los elementos internos de goma.

También tiene una doble función como amortiguador de las pulsaciones procedentes del colector de admisión.

Es muy importante respetar el sentido de montaje de la válvula de retención, que está indicado con una flecha sobre su cuerpo y debe señalar al elemento generador de la depresión, ya que, si la válvula se monta incorrectamente, no cumplirá su función.

3.2 > Bomba mecánica de vacío para servofreno (motor diésel)



12.17. Bomba de vacío para servofreno (motor diésel).

Las bombas mecánicas de vacío se utilizan para accionar el servofreno en aquellos vehículos que no disponen del vacío suficiente en el colector de admisión. Su funcionamiento consiste en el giro de un rotor excéntrico que acciona una paleta dentro del cuerpo de la bomba. Este rotor puede ser accionado mediante el árbol de levas o mediante una polea, aprovechando el giro del motor para generar el vacío suficiente para el servofreno.

La bomba de vacío necesita lubricación, que toma del motor, y la utiliza para mejorar la estanqueidad dentro de la bomba, disipar el calor y lubricar las partes móviles.

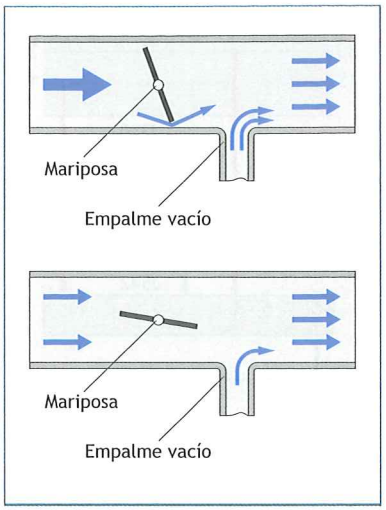
Los grupos de componentes integrados se incorporan cada vez más en los motores de los vehículos actuales. De hecho, la tendencia es integrar la bomba de vacío y la bomba hidráulica de servodirección en un solo componente, lo que se denomina bomba en tándem. En este caso, las bombas de vacío y de servodirección comparten una misma carcasa y disponen de un mismo eje de accionamiento que está impulsado por el conjunto de las ruedas dentadas del motor.

3.3 > Bomba eléctrica de vacío para servofreno

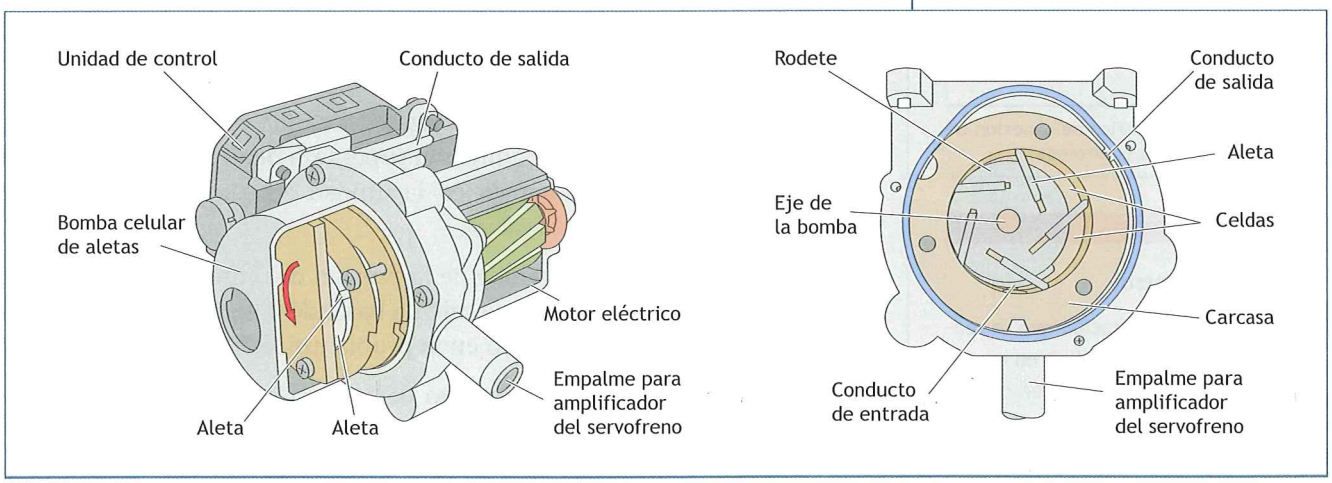
La bomba eléctrica de vacío se utiliza en aquellos vehículos con motor de gasolina y caja de cambios automática que cumplen con la norma EU4. Su función es generar el vacío necesario para el correcto funcionamiento del servofreno.

En los motores de gasolina que disponen de cambio automático se necesita una fase de calentamiento para el catalizador después del arranque en frío, además de una compensación de los pares de fricción generados por la resistencia interna del convertidor de par durante el funcionamiento. Para ello, la válvula de mariposa realiza una gran apertura durante la fase de arranque en frío y en el paso a régimen de ralentí cuando se pisa el pedal del freno con el vehículo en movimiento. Esto produce una baja depresión en el colector de admisión y en el empalme de vacío para el servofreno. En esta situación resulta necesario el apoyo de la bomba de vacío.

La bomba eléctrica de vacío se compone principalmente de un motor eléctrico de corriente continua y de una bomba celular de aletas que se une al servofreno mediante una canalización (figura 12.19).



12.18. Posiciones de la válvula de mariposa y disposición del vacío.



12.19. Bomba eléctrica de vacío para servofreno.

Funcionamiento

El motor eléctrico proporciona el movimiento al eje de la bomba, que mueve el rodete con las aletas. El eje de la bomba está descentrado, por lo que se forman celdas de diferente magnitud entre el rodete y la carcasa.

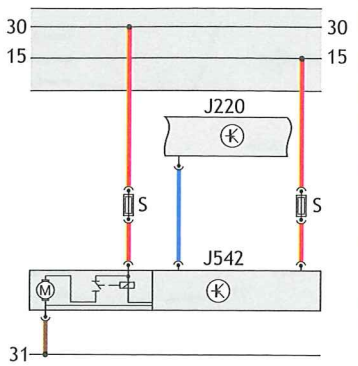
En el giro de la bomba la fuerza centrífuga hace que se deslicen las aletas que se apoyan contra la pared interior de la carcasa, formando celdas de aire estancas. El aire encerrado en las celdas es aspirado del conducto del servofreno y expulsado a través del conducto de salida, lo que genera la depresión en el servofreno.

Existen dos versiones de bomba de vacío eléctrica, según el tipo de vehículo donde se monte:

- Bomba eléctrica de vacío controlada.
- Bomba eléctrica de vacío regulada.

Al arrancar el motor

Al arrancar el motor, la bomba eléctrica de vacío se pone en funcionamiento durante 1-2 segundos. Después de arrancar el motor en frío, si se pisa el pedal de freno se debe notar que hay asistencia del servofreno. Si hay una anomalía en el funcionamiento, el pedal se notará excesivamente duro.



J220 Unidad de control del motor
J542 Unidad de control para servoalimentación de frenado
S Fusible
Señal de salida
Positivo
Masa

12.21. Esquema eléctrico de conexión de una bomba eléctrica controlada.

Sistema de control

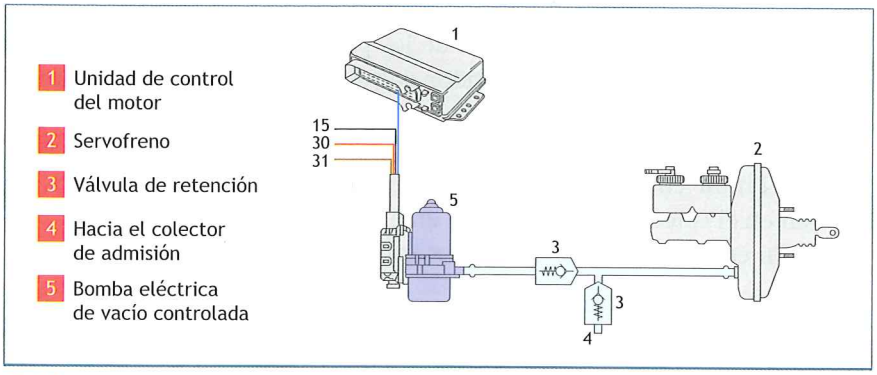
El control es una operación que se realiza en un sistema para influir en los parámetros de salida teniendo en cuenta exclusivamente los parámetros de entrada. Los elementos controlados no tienen sensores intermedios que puedan influir y modificar los parámetros de salida, ni mandan señales de realimentación para el sistema de control (unidad de control).

Vocabulario

Histéresis: continuación de un efecto después de cesar la causa que lo produce.

Bomba eléctrica de vacío controlada

Esta versión controlada de la bomba eléctrica no dispone de un sensor de presión en la canalización de vacío. La unidad de control del motor calcula la presión en el servofreno mediante el análisis de los siguientes parámetros de entrada: carga, régimen, posición de la mariposa y conmutador o interruptor de freno.



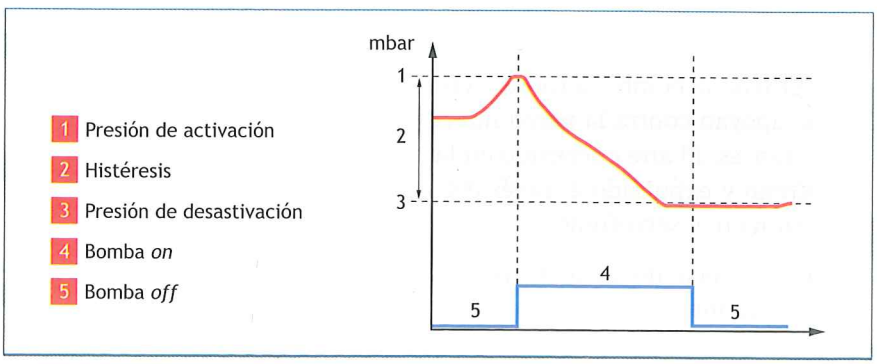
12.20. Componentes de la bomba eléctrica de vacío controlada.

La unidad de control del motor compara el valor de la presión calculado en el servofreno y el valor de la presión del modelo matemático para el colector de admisión que tiene memorizado. Cuando el valor calculado de la presión para el colector de admisión supera un determinado valor de la curva característica memorizada en la unidad de control del motor, se activa la bomba eléctrica de vacío.

Esta curva característica depende de la presión del entorno y, en algunas unidades de control del motor, se calcula basándose en los datos obtenidos por el sensor de presión ubicado en la propia unidad de control.

El sistema dispone de un mecanismo de activación y desactivación de la bomba a partir de una gama de valores de presión prefijada. Estos valores son la diferencia entre la presión de activación y la presión de desactivación.

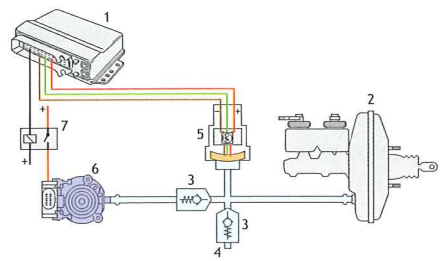
Después de la desactivación de la bomba se conserva la depresión generada hasta que es disipada por el accionamiento del freno. Este sistema se denomina funcionamiento con histéresis y evita que la bomba se conecte y desconecte continuamente.



12.22. Diagrama de histéresis de una bomba de vacío controlada.

Bomba eléctrica de vacío regulada

Esta versión regulada de la bomba eléctrica dispone de un sensor de presión en la canalización de vacío del servofreno que suministra una señal de tensión a la unidad de control del motor.



1 Unidad de control del motor
2 Servofreno
3 Válvula de retención
4 Hacia el colector de admisión
5 Sensor de presión
6 Bomba eléctrica de vacío regulada
7 Relé

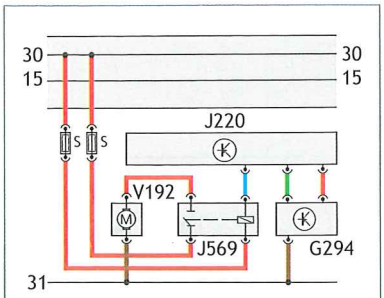
12.23. Componentes de la bomba eléctrica de vacío regulada.

La unidad de control del motor da señal por negativo al relé de activación de la bomba. Una vez establecida la señal +15 del conmutador de encendido, se aplica una tensión de +5 V al sensor de presión. El sensor de presión dispone de un diafragma con extensómetro (instrumento de medición del alargamiento de un material por aplicación de una fuerza). Si hay variación de la presión en el interior del sensor, también varía la resistencia eléctrica del extensómetro por su deformación. Con presión atmosférica hay muy poca deformación del extensómetro, la resistencia en oposición a la tensión aplicada de alimentación del sensor (+5 V) es muy baja y se obtienen 4 V a la salida del sensor. Con depresión, se da una deformación del extensómetro más acusada y, por consiguiente, una modificación más elevada de su resistencia, la tensión se reduce en la misma proporción y se obtiene según la gráfica un valor mínimo de tensión de salida de 0,4 V.

La unidad de control del motor está programada con la curva característica de activación de la bomba eléctrica (activación y desactivación por histéresis). Al igual que en la versión controlada, para activar la bomba se tiene en cuenta la presión en el servofreno y la presión reinante en el exterior. Según el tipo de unidad de control del motor, la magnitud se calcula basándose en los datos del sensor interno de presión de la propia unidad.

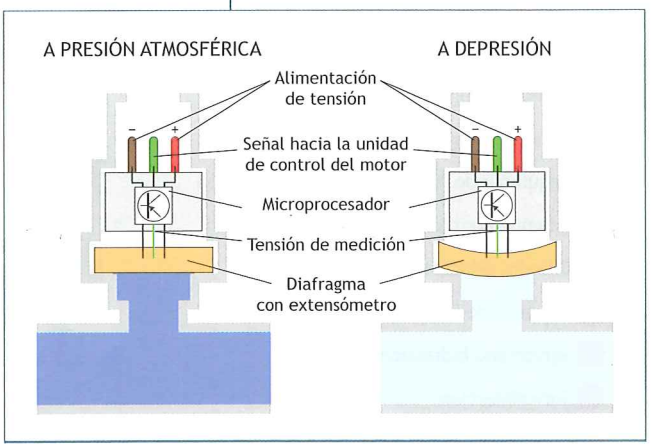
Si el sensor de presión se avería, el sistema trabaja según el modelo matemático de la versión controlada.

Valores de activación aproximados de la bomba según altitud (mbar)				
Tipo de bomba	Nivel del mar	800 m	1 000 m	Histéresis
Controlada	Superior a 550	Superior a 525		50
Regulada	Superior a 600		Superior a 540	170



G294 Sensor de presión para servoamplificación de frenado
J220 Unidad de control del motor
J569 Relé para servoalimentación de frenado
V192 Bomba de vacío para servoalimentación de frenado
S Fusible
Señal de salida
Señal de entrada
Polo positivo de batería
Masa

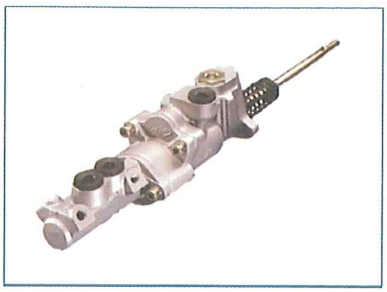
12.24. Esquema eléctrico de conexión de una bomba eléctrica regulada.



12.25. Sensor de presión.

Sistema de regulación

Con el sistema de regulación se detecta continuamente el parámetro que se debe regular mediante el uso de sensores. La unidad de control compara los valores de la señal recibida de los sensores con los valores teóricos memorizados que posee y, a partir del resultado, regula el funcionamiento de los actuadores correspondientes.



12.26. Servofreno Hidromaster.

Utilización de fluidos

- Aceite hidráulico: en el circuito del servofreno (A), la tubería de aspiración y retorno (B) y el circuito de la dirección (C).
- Liquido de frenos: en los circuitos de freno.

4 >> Servofreno hidráulico (Hidromaster)

El servofreno hidráulico o Hidromaster aprovecha racionalmente la energía hidráulica presente en el vehículo.

En aquellos vehículos provistos de un sistema hidráulico específico para la dirección asistida o la regulación del nivel de la suspensión, se sustituye el uso de un servofreno de vacío por un servofreno hidráulico que aprovecha la energía hidráulica de estos sistemas.

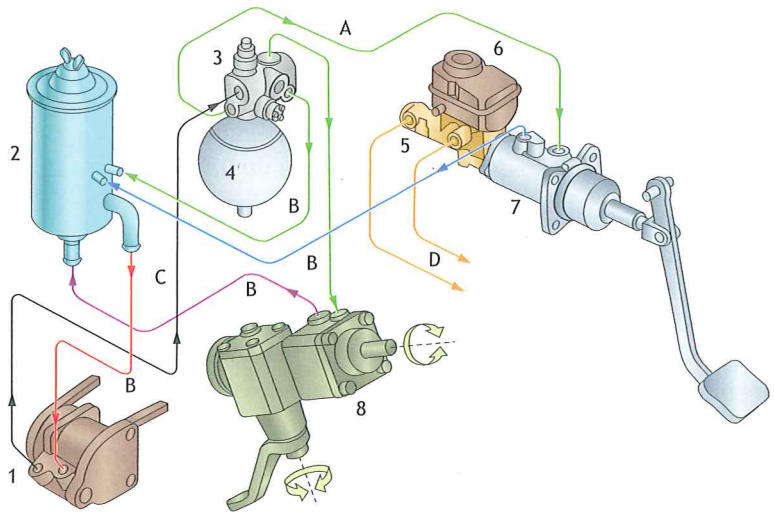
El servofreno hidráulico Hidromaster tiene un peso y un tamaño reducidos, similares a una bomba de freno tándem, y se ubica entre el pedal y la bomba de freno.

En comparación con el servofreno Mastervac, el Hidromaster presenta una reacción del freno mayor y una presión de saturación notablemente mayor (aprox. 160 bares), lo que reduce el esfuerzo en el accionamiento del pedal del freno. Además no necesita un suministro de vacío, por lo que se puede utilizar sin problemas en vehículos diésel o vehículos que utilicen motores con baja generación de vacío en el colector de admisión.

El sistema de servofreno hidráulico está formado por los siguientes elementos (figura 12.27):

- Amplificador hidráulico con bomba de freno simple o tipo tándem.
- Regulador de flujo controlado por presión con acumulador hidráulico.
- Bomba de la servodirección con depósito de reserva.

1 Bomba de dirección
2 Depósito de reserva con filtro
3 Regulador de flujo controlado por presión
4 Acumulador hidráulico
5 Cilindro principal
6 Depósito de líquido
7 Servofreno hidráulico
8 Servodirección
A Circuito de servofreno
B Tubería de aspiración y retorno
C Circuito de la dirección
D Circuito de freno



12.27. Componentes del sistema de servofreno hidráulico.

El servofreno hidráulico intensifica la fuerza realizada por el conductor gracias a la fuerza hidráulica que genera la bomba de la servodirección. Esta fuerza se almacena en el acumulador y, en caso de fallo de la bomba, permite realizar varias frenadas con amplificación de la fuerza de frenado. Cuando se agota la reserva de presión, es igualmente posible frenar, pero teniendo que ejercer más fuerza sobre el pedal del freno.

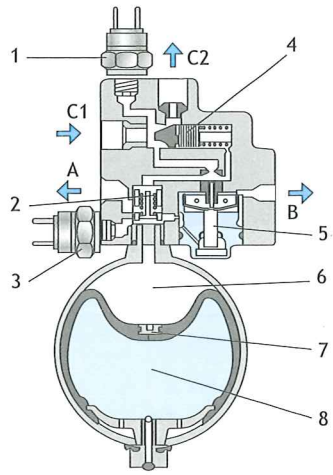
4.1 > Funcionamiento del regulador de flujo con acumulador hidráulico

La bomba de la servodirección envía aceite hidráulico a la conexión C1 del regulador de flujo controlado por la presión. Dirige gran parte del flujo suministrado al émbolo regulador de flujo (4) hacia la servodirección, mediante la conexión C2, y el resto del flujo se utiliza para cargar el acumulador hidráulico hasta una presión de entre 36 y 57 bares. Cuando se alcanza la presión de desconexión, la válvula de mando (5) pone en comunicación la cámara de resorte del émbolo regulador de flujo (4) con el depósito de reserva mediante la conexión B. En este momento se dispone del flujo total que suministra la alimentación de la servodirección.

4.2 > Funcionamiento del amplificador hidráulico

El amplificador hidráulico se comporta de distinta manera en estas situaciones:

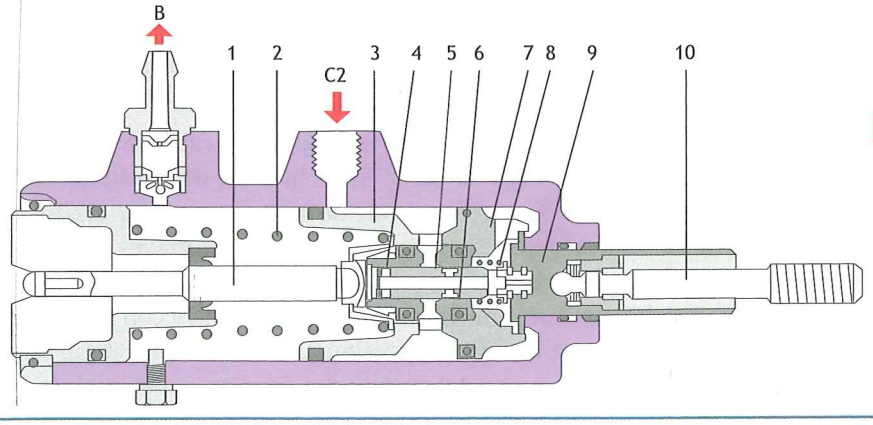
- **Posición de reposo:** el flujo suministrado a través de la conexión C2 está interrumpido por el regulador de flujo mediante los bordes de distribución (4-6), encontrándose abierto el retorno de aceite hidráulico sin presión hacia el depósito de reserva a través de la conexión B.
- **Posición de frenado parcial:** el pedal del freno accionado por el conductor desplaza el vástago del émbolo (10) del amplificador hidráulico, desplazándose a su vez el émbolo de accionamiento (9) y el émbolo de distribución (7), el cual desplaza también sus bordes de distribución (4-6). De esta manera el regulador de flujo controlado por presión abre la entrada del flujo suministrado a través de la conexión C2 y se cierra la salida hacia el depósito de reserva a través de la conexión B. El flujo suministrado actúa como energía intensificadora de la fuerza de entrada del pedal del freno sobre el émbolo de multiplicación (3) y el émbolo de accionamiento (9), hasta que se crea un equilibrio con la fuerza del cilindro de la bomba de freno que se transmite a través del vástago de presión (1).
- **Posición de frenado máximo:** los bordes de distribución 5 y 6 se encuentran en una posición que permite el paso del flujo total suministrado. En este momento se crea la mayor fuerza intensificadora que el servofreno hidráulico puede generar.



1 Interruptor de aviso de la presión de circulación
2 Válvula de retención
3 Interruptor de aviso de la presión del acumulador
4 Émbolo regulador de flujo
5 Válvula de mando
6 Zona hidráulica
7 Membrana
8 Zona neumática

Conexiones:
A Hacia el servofreno
B Hacia el depósito de reserva
C1 Procedente de la bomba de la servodirección
C2 Hacia la servodirección

12.28. Componentes del regulador de flujo controlado por presión con acumulador hidráulico.



1 Vástago de presión
2 Resorte de retroceso
3 Émbolo de multiplicación
4 5 6 Bordes de distribución
7 Émbolo de distribución
8 Resorte de compresión
9 Émbolo de accionamiento
10 Vástago de émbolo

Conexiones:
B Hacia el depósito de reserva
C2 Procedente del regulador de flujo controlado por presión.

12.29. Componentes del amplificador hidráulico.

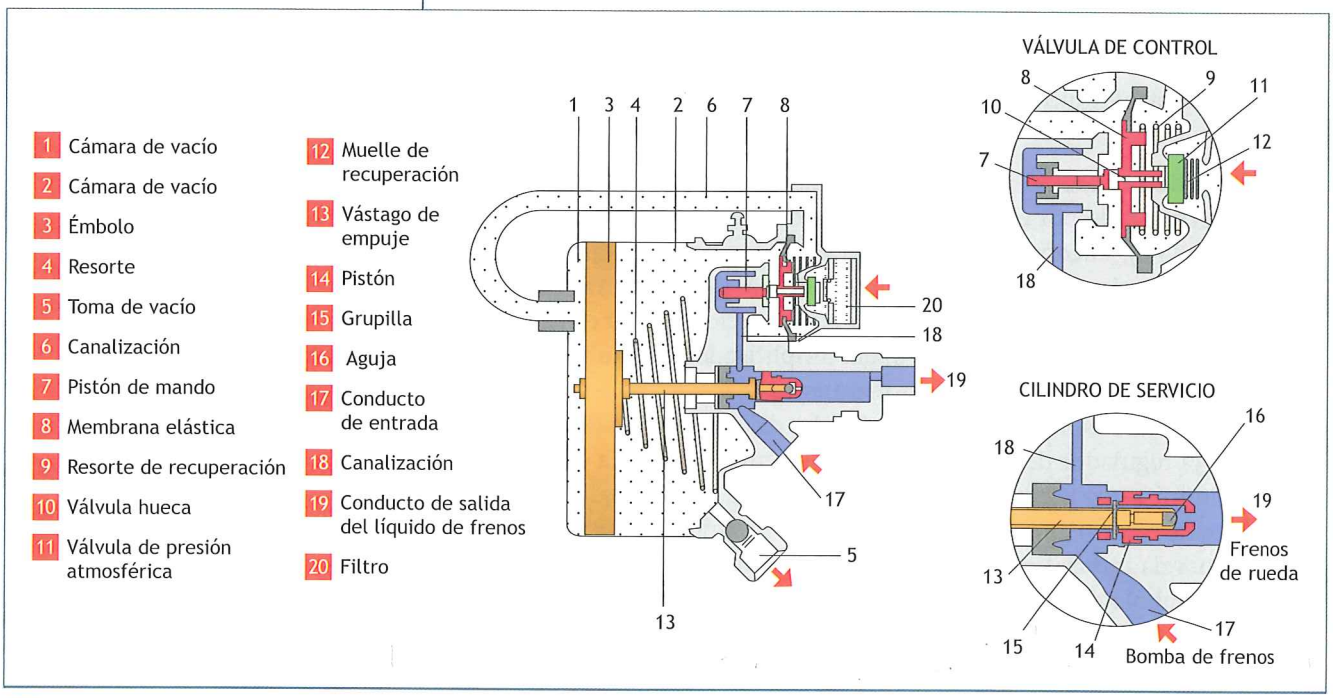
12.30. Servofreno Hidrovac.

5 >> Servofreno hidráulico/vacío (Hidrovac)

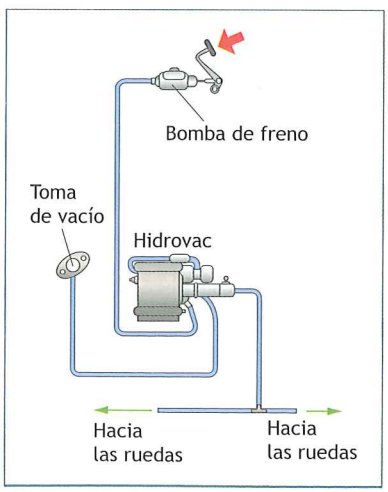
El servofreno hidráulico/vacío o Hidrovac es un tipo de servofreno de asistencia combinada hidráulica y de vacío.

Estos servofrenos se utilizan con menor frecuencia en los vehículos. A diferencia de los anteriores, se pueden instalar en cualquier parte del vehículo, ya que se accionan hidráulicamente a distancia por la bomba de freno. Necesitan además una toma de vacío.

El conjunto del servofreno Hidrovac está formado por tres subconjuntos o elementos básicos (figura 12.31):



12.31. Composición del servofreno Hidrovac.



12.32. Esquema de montaje del servofreno Hidrovac.

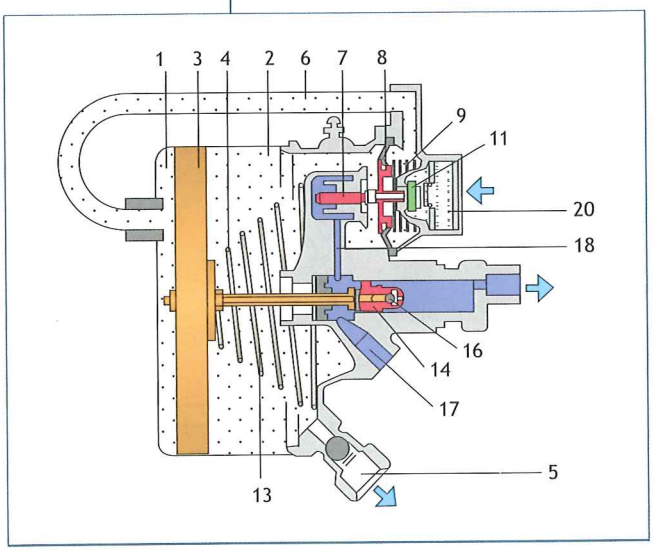
- **Cuerpo de vacío:** fabricado en chapa de acero y cerrado herméticamente, en su interior alberga el émbolo (3), que separa con hermeticidad mediante una junta las dos cámaras de vacío (1 y 2). Estas dos cámaras se comunican con la toma de vacío (5) a través de la válvula de control. El cuerpo de vacío también dispone en su interior de un resorte (4) de recuperación del pistón (14).
- **Válvula de control:** está formada por un cuerpo de válvulas atornillado a la tapa anterior del cuerpo de vacío. En el interior de la válvula se forman dos cámaras por la interposición de una membrana elástica (8) con resorte de recuperación (9). Estas se comunican a través de una válvula hueca (10) unida al pistón de mando (7), accionado por el líquido de frenos. También se comunican con la toma de vacío y con las cámaras del cuerpo de vacío. La válvula de presión atmosférica (11) pone en comunicación la parte superior del cuerpo de válvulas con el aire exterior a través del filtro (20) y es mantenida en su posición de reposo por acción del muelle de recuperación (12).

– **Cilindro de servicio o cilindro hidráulico:** el cilindro de servicio se comunica con la válvula de control a través de la canalización (18). El conducto de entrada (17) procede de la bomba de freno y la salida del líquido de frenos (19) se dirige hacia los frenos de las ruedas. En su interior se desplaza el pistón (14), unido mecánicamente, por medio del vástago de empuje (13), al émbolo (3) situado en el cuerpo de vacío, que se mantiene en su posición de reposo por medio del resorte (4) situado en la parte anterior del pistón. La aguja (16) forma una válvula con el extremo del pistón (14).

5.1 > Funcionamiento del servofreno Hidrovac

Posición de reposo

En la posición de reposo del servofreno Hidrovac (figura 12.33) el émbolo (3) y el pistón (14) se encuentran en la parte posterior del cuerpo de vacío por acción del resorte (4), y las cámaras (1 y 2) del cuerpo de vacío se encuentran sometidas a la acción de la depresión creada por el vacío interno.



12.33. Servofreno Hidrovac en posición de reposo.

En esta posición de reposo del servofreno, el líquido hidráulico procedente de la bomba de freno que llega al cilindro de servicio puede pasar por el interior del pistón (14) a través de la válvula (16), que permanece abierta por la presión del líquido ejercida sobre los cilindros de los frenos de las ruedas.

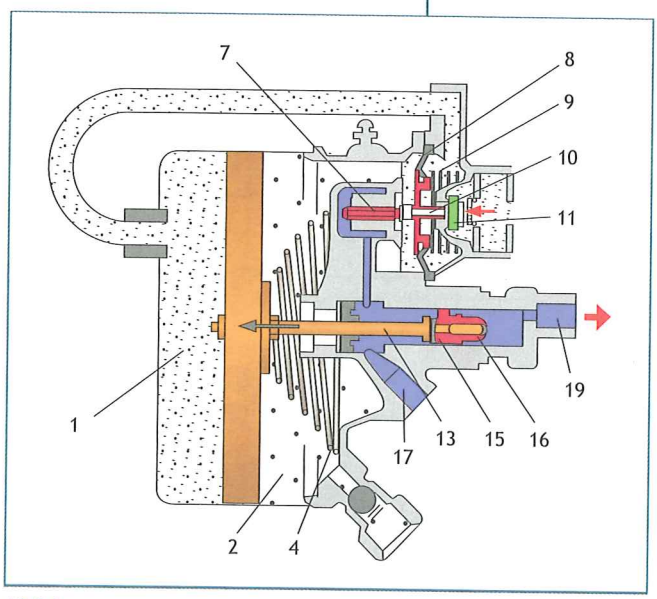
Por tanto, en caso de avería del servofreno o de algún fallo del circuito de vacío que impida el funcionamiento del mismo, el sistema hidráulico de freno queda garantizado a través del pistón, pero con un funcionamiento sin asistencia del servofreno.

Posición de frenado en tres fases

La posición de frenado durante el funcionamiento del servofreno Hidrovac se divide en tres fases:

– **Primera fase: incomunicación entre las cámaras (1 y 2).** Al accionar el pedal del freno, la presión procedente de la bomba de freno fluye por la canalización (18) e intenta desplazar el pistón (7). A partir de un determinado nivel de presión, el pistón (7) vence el esfuerzo del resorte (9) y entra en contacto con la válvula de presión atmosférica (11), quedando incomunicadas las cámaras (1 y 2).
– **Segunda fase: entrada de aire a presión atmosférica.** La presión del líquido de frenos sigue aumentando por la presión de la bomba de freno. La válvula de presión atmosférica (11) se despega de su asiento y deja paso a la entrada de aire del exterior hacia la canalización (6) y la primera cámara (1). Ahora la primera cámara (1) se encuentra a presión atmosférica y la segunda (2) con vacío, por lo que el émbolo (3) se encuentra en una posición de desequilibrio. Entonces el émbolo (3) se desplaza por diferencia de presiones, moviendo el vástago de empuje (13).

– **Tercera fase: desplazamiento del pistón del cilindro de servicio.** Al desplazarse el vástago de empuje (13), se produce el cierre de la válvula de aguja (16). El cierre de la válvula de aguja (16) corta la comunicación entre el conducto de entrada del líquido de frenos (17) y el conducto de salida (19). El cilindro de servicio se desplaza a la derecha y empuja al líquido de frenos de la canalización (19), generando la presión asistida hacia los cilindros de freno de las ruedas.



12.34. Servofreno Hidrovac en posición de mantenimiento.

Posición de mantenimiento de la asistencia

Una vez transcurrida la segunda fase de frenado, la membrana (8) recibe por un lado la fuerza del resorte (9), sumada a la presión atmosférica, y por el otro depresión, sumada a la presión del líquido de frenos aplicada sobre el pistón (7); por lo que la membrana está sometida a un diferencial de presión. Si la fuerza ejercida sobre el pedal del freno permanece constante, la válvula de control tomará una posición de equilibrio. En esta posición de equilibrio la válvula (11) se cierra, no permitiendo la entrada de más aire a presión atmosférica. Si la fuerza ejercida sobre el pedal del freno aumenta, la válvula (11) se abre y la fase de frenado comienza de nuevo.

Transición a la posición de reposo

Al cesar la fuerza en el pedal del freno, la presión del líquido de frenos desaparece. El pistón (7) y la membrana (8) se desplazan hacia la parte posterior de la válvula de control, la válvula (11) se cierra y la válvula hueca (10) se abre. Una cámara (1) se somete a la depresión. El émbolo (3) se desplaza hacia la parte posterior del cuerpo de vacío gracias a la fuerza del resorte (4) y se lleva consigo el vástago de empuje (13). La aguja (16) se libera de su asiento y deja libre el paso hacia la bomba de freno para el líquido que retorna de los cilindros de freno de las ruedas.

Acción combinada

Analizando el funcionamiento de este servofreno, se puede determinar que sobre el pistón del cilindro hidráulico actúan la fuerza de asistencia del servofreno (diferencia de presiones vacío/presión atmosférica) y la presión del líquido de frenos transmitida por la bomba. Por lo tanto, la presión total generada en el líquido de frenos que actúa sobre los cilindros de freno de las ruedas es la suma de los dos efectos.

El efecto derivado del funcionamiento de este servofreno es reversible debido a que el desplazamiento que realiza el líquido de frenos, por el mayor recorrido del pistón en el cilindro de servicio, es mayor que el realizado en la bomba de freno, disminuyendo el recorrido del pedal de frenos y el esfuerzo del conductor para obtener el mismo efecto de frenado.

En estos servofrenos, aunque prácticamente están exentos de mantenimiento, es recomendable sustituir el filtro de entrada de aire (20) cada 50 000 km.

6 >> Elementos de control de la presión de frenado

En el proceso de frenado tiene lugar una disminución de la carga en el eje trasero del vehículo que aumenta en función de la deceleración. Por este motivo es necesario controlar la presión del circuito de freno de las ruedas del eje trasero con respecto a las del eje delantero.

La fuerza de frenado máxima que se puede aplicar a una rueda sin que se bloquee es proporcional a la carga que gravita sobre dicha rueda.

Cuando se frena, en el vehículo se produce una transferencia de la carga del tren trasero al delantero cuya intensidad depende de la deceleración del vehículo. En consecuencia, la adherencia de las ruedas del tren trasero disminuye, facilitando el bloqueo de las mismas y provocando inestabilidad en el vehículo.

Para evitar este bloqueo se instalan en el circuito hidráulico de freno del tren trasero reductores de presión cuya misión es disminuir la presión hidráulica que llega a los cilindros de freno de las ruedas traseras sin influir en la presión que llega a los frenos delanteros.

En los sistemas de mando hidráulico dual con configuración en X, aunque es posible montar un reductor de presión por cada rueda trasera, suelen instalarse dos reductores en un solo bloque.

En los vehículos que cuentan con un sistema antibloqueo de frenos ABS y la función correspondiente (por ejemplo EBV) no es necesario instalar ningún reductor de presión, ya que el propio sistema ABS se encarga de regularla. De esta manera se consigue, dentro del margen de regulación posible, aplicar sobre cada rueda la presión de frenado óptima en función de la carga dinámica y de la adherencia entre la rueda y el pavimento, logrando así la máxima deceleración sin que la rueda llegue a bloquearse.

Por norma general se pueden encontrar tres tipos de correctores, en función del tipo de vehículo y de si estos son independientes de la suspensión (carga) o están accionados por ella:

- Reductor dependiente de la presión o regulador de la frenada.
- Reductor de presión dependiente de la carga o corrector de la frenada.
- Reductor de presión dependiente de la deceleración.

Estos correctores de frenada, debido a su funcionamiento, obtienen como resultado unas gráficas de presión de tipo acotado.

Los componentes que controlan las acciones de frenado, el control de la dirección y los sistemas de tracción son fundamentales para garantizar la realización de las maniobras básicas de la conducción de los vehículos de una forma eficiente.

Es importante que los componentes de la instalación del sistema de frenos estén diseñados para utilizar al máximo la presión generada por dicho sistema y garantizar lo máximo posible la estabilidad del vehículo cuando el conductor pisa el pedal del freno.

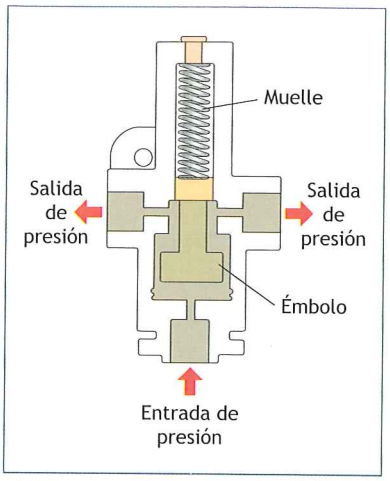
6.1 > Reductor dependiente de la presión o regulador de frenada

Existen dos tipos de reductores de la presión: de simple efecto y de doble efecto.

Reductor de simple efecto

Básicamente está constituido por un cuerpo que alberga en su interior un émbolo y un muelle tarado a una determinada presión.

Como se observa en la figura 12.37, cuando la presión en las ruedas traseras (AR) alcanza un valor de 50 bares, el émbolo se desplaza, venciendo la presión de tarado del muelle, y obstruye la canalización de salida hacia las ruedas traseras. La presión de las ruedas delanteras no se ve afectada por esta regulación y, por lo tanto, sigue aumentado hasta los 75 bares.



12.35. Esquema de un reductor de simple efecto.

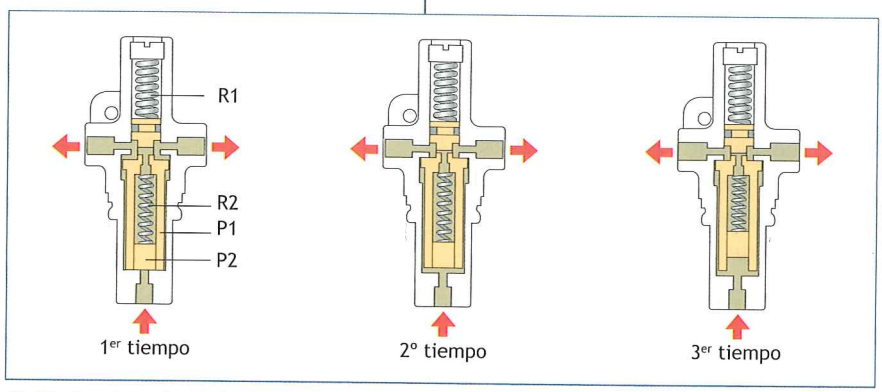
Reductor de doble efecto

La transferencia de carga del tren trasero al tren delantero se realiza en función de la velocidad del vehículo y de la intensidad de la frenada. De acuerdo a esto, existen dos situaciones ante las cuales puede surgir un importante desequilibrio: que la intensidad de la frenada sea muy alta o que la velocidad de desplazamiento del vehículo sea muy baja. Si la velocidad del vehículo es muy baja, la adherencia de las ruedas tendrá un valor relativamente alto y en este caso es posible aumentar, dentro de un margen, la presión a partir del punto V de la gráfica del reductor de simple efecto.

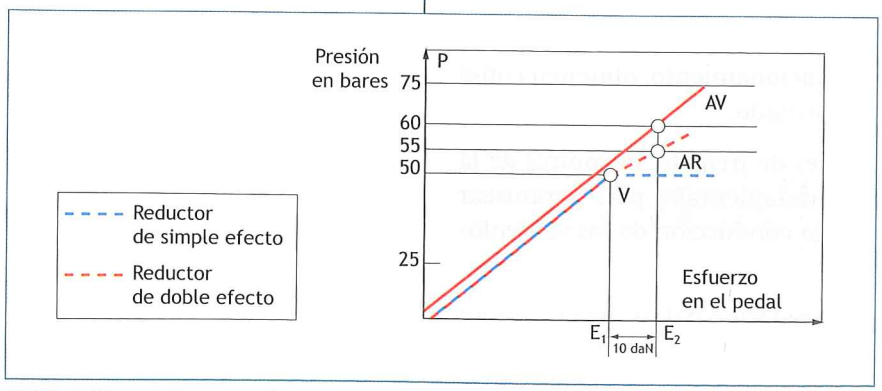
Esto se consigue con el reductor de doble efecto, que consta de dos muelles tarados a diferentes presiones (R2 > R1) y de dos pistones (válvulas).

Los dos primeros tiempos de funcionamiento son similares a los del reductor de simple efecto: la presión del fluido desplaza el pistón P1 y este comprime el muelle R1 hasta que el pistón llega a su tope (valores V de la gráfica 12.36). A continuación, en el tercer tiempo, la presión de la bomba de freno aumenta y consigue desplazar el pistón P2, el cual comprime el muelle R2 permitiendo que aumente la presión en las ruedas traseras aproximadamente un 50% del aumento de presión que se da en el circuito delantero.

Los reductores dependientes de la presión son aptos para vehículos que disponen de una carga importante sobre el tren trasero que no sufre grandes variaciones.



12.36. Funcionamiento de un reductor de doble efecto.



12.37. Gráficas de la regulación de frenada dependiente de la presión.

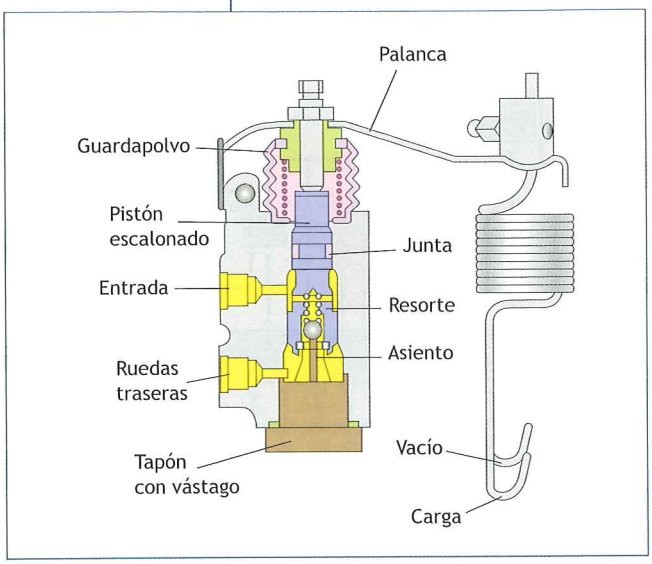
6.2 > Reductor dependiente de la carga o corrector de frenada

Este tipo de reductor se utiliza en vehículos que suelen soportar variaciones importantes de la carga sobre el eje trasero, ya que, cuanto mayor sea la carga soportada por el eje, mayor será la adherencia de sus ruedas y mayor tendrá que ser la fuerza de frenado que se aplique sobre ellas.

El reductor controla el paso de presión a los frenos traseros basándose en la carga que soporta el eje trasero y en la deceleración del vehículo, para que dicha presión sea menor que la que actúa sobre los delanteros y siempre muy cercana a la máxima aplicable.

Estos reductores se encuentran ubicados en el tren trasero conectado a la suspensión para percibir las variaciones relativas al grado de deceleración del vehículo y a la disminución de la carga sobre el eje.

La variación de la presión durante el proceso de frenado viene determinada por la posición de un pistón que está sometido a la acción combinada de un muelle interior y de un muelle exterior al regulador que es sensible a la variación de posición de la suspensión trasera.



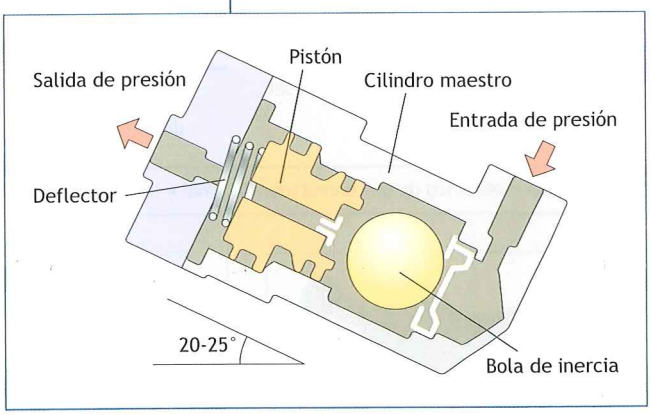
12.38. Reductor dependiente de la carga.

6.3 > Reductor de presión dependiente de la deceleración

Este tipo de reductor de presión va situado en la parte delantera del vehículo y se debe montar en un ángulo de entre 20 y 25° con respecto al eje longitudinal del vehículo, de tal manera que, con el vehículo parado, la bola de inercia se encuentre apartada del pistón en dirección hacia la parte trasera del vehículo.

Constitución y funcionamiento

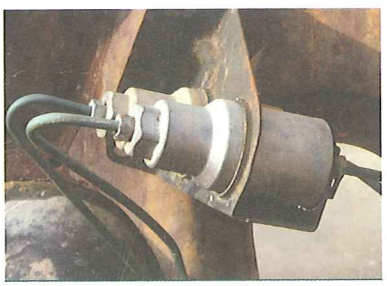
Los reductores de presión dependientes de la deceleración están formados por un pistón diferencial y una bola de inercia situada en el interior de un cilindro maestro.



12.39. Componentes de un reductor de presión dependiente de la deceleración.

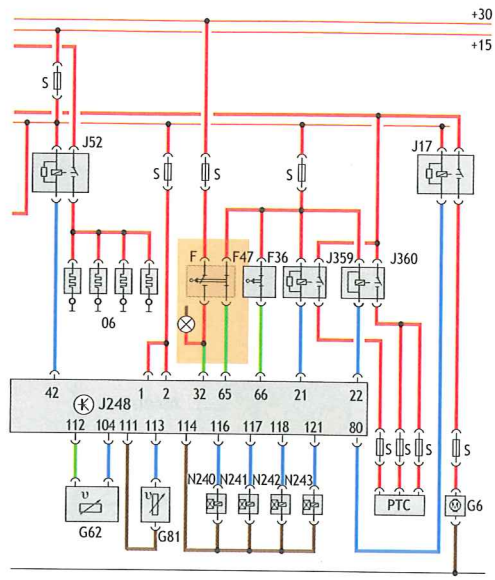
Cuando el vehículo alcanza una determina deceleración (±5 m/s²), la bola se desplaza por el plano inclinado hacia arriba debido a su inercia y a la presión del circuito hidráulico, cerrando el orificio de salida del émbolo diferencial.

Por lo tanto, aunque aumente la presión de entrada, en la salida hacia los frenos del eje trasero no se produce tal aumento (limitación de la presión). Si continúa aumentando la presión de entrada, esta desplaza el pistón diferencial, venciendo la fuerza del resorte (deflector) hacia el orificio de salida, de manera que ahora se establece de nuevo la comunicación entre la entrada y la salida de presión (punto de conmutación). La presión en el cilindro de la rueda del eje trasero puede seguir aumentando, pero de una manera controlada y reducida.



12.40. Reductores de presión dependientes de la deceleración ubicados en el vehículo.

7 >> Elementos electrónicos del pedal del freno



12.41. Circuito eléctrico de un conmutador de señal y luz de freno.

7.1 > Conmutador de señal y luz de freno

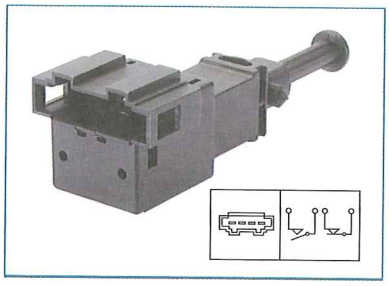
El conmutador ubicado en el pedal del freno tiene como misión conectar las luces de freno y mandar a la unidad de control del motor la señal de «freno accionado» para su propia gestión. Una sección del conmutador recibe la señal +30 y en reposo se encuentra con los contactos abiertos (luz de freno apagada); la otra sección recibe la señal +15 y tiene los contactos cerrados. Al pisar el pedal del freno se conmuta la posición de los contactos y se manda alimentación +30 a las luces de freno.

El hecho de disponer de dos secciones en el conmutador se debe a cuestiones de seguridad y garantiza el suministro de información a la unidad de control del motor.

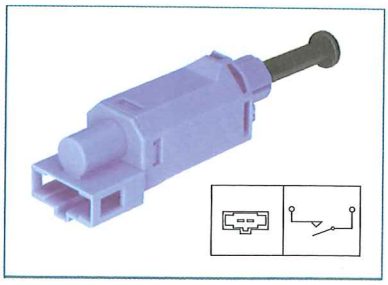
7.2 > Interruptor de luz de freno

La señal indicada por el interruptor (−31 ó +30) se transmite, al pisar el pedal del freno, por un cable convencional a la unidad de control de la red de a bordo, la cual alimenta con tensión positiva las lámparas de luz de freno.

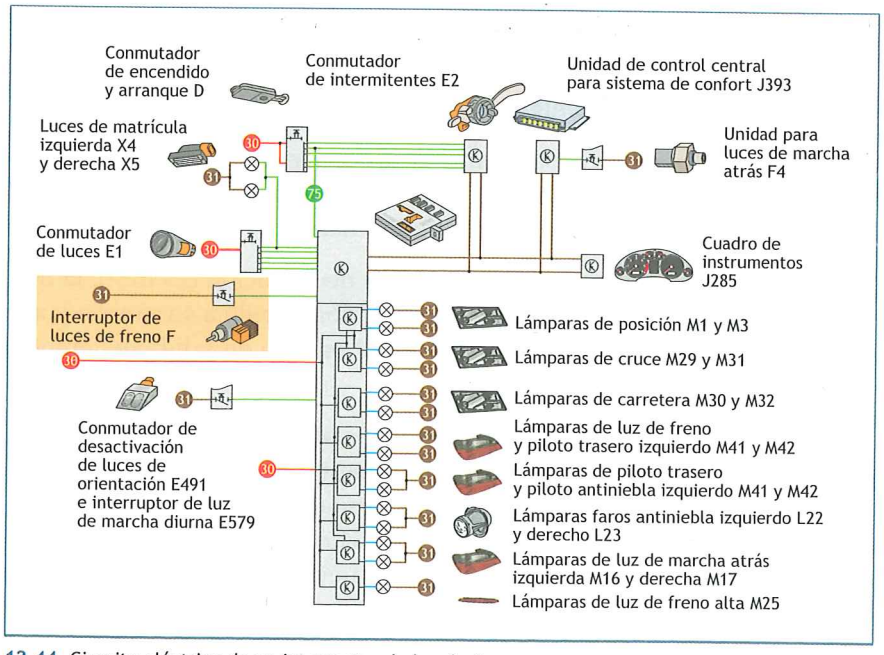
Al presentarse una avería en el circuito del interruptor, la unidad de control de la red de a bordo alimenta las luces de freno permanentemente, después de conectar el conductor la señal del conmutador de encendido (+15).



12.42. Conmutador de señal y luz de freno.



12.43. Interruptor de luz de freno.

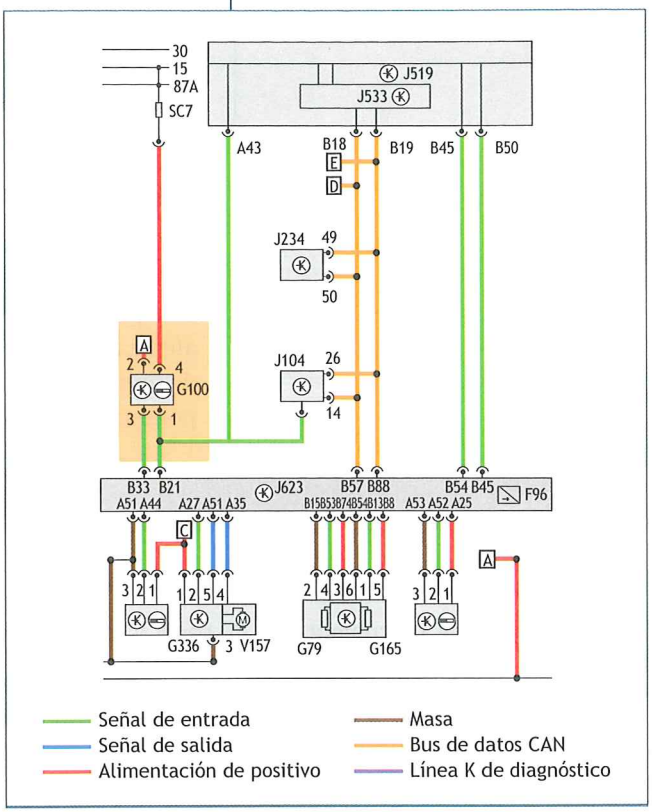


12.44. Circuito eléctrico de un interruptor de luz de freno.

7.3 > Transmisor para la posición del pedal del freno

Este transmisor se encarga de detectar si el pedal del freno está pisado. Va atornillado en la parte inferior de la bomba de freno y está compuesto por dos sensores Hall (por motivos de seguridad) y un analizador electrónico integrado. Un anillo magnético va alojado solidario al émbolo de la bomba y, en su desplazamiento, provoca la variación del campo magnético que registran dichos sensores.

El transmisor dispone de cuatro terminales. Por el terminal 4 se alimenta el positivo de borne 15 y el negativo lo hace por el terminal 2. El transmisor genera dos señales de salida por los terminales (1 y 3), de manera que se pueda comprobar la veracidad de las mismas. Ambas señales, procesadas por el analizador electrónico del transmisor, son enviadas directamente por un cable convencional a la unidad de control del motor. Además, en el terminal 1 hay una derivación con la unidad de control de la red de a bordo, que se encarga del encendido de las luces de freno, y con la unidad de control del sistema de frenos (ABS/ESP). La unidad de control del sistema de frenos, posteriormente, recibe por el sistema de CAN bus la señal de «pedal de freno accionado» para verificar la certeza de dicha señal.



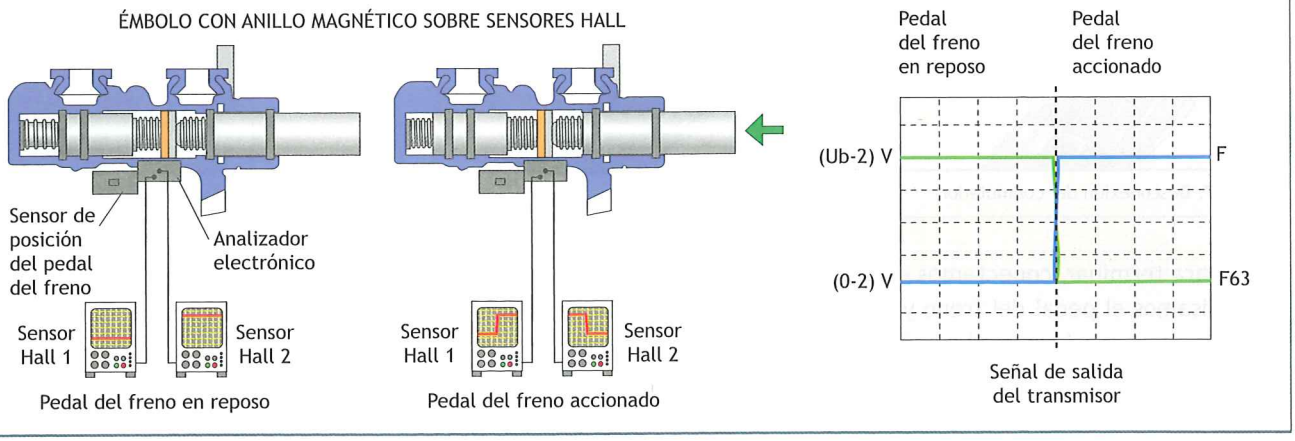
12.45. Circuito del transmisor de posición del pedal de freno.

Funcionamiento

A continuación se describe la señal generada por uno de los sensores, ya que la del otro es la señal opuesta y al accionar el pedal del freno se intercambian.

Sin pisar el pedal del freno, el anillo magnético se encuentra en la posición de reposo enfrentado a los dos sensores Hall. La electrónica del sensor genera una tensión de salida de entre 0 y 2 V (Hall 1) que es detectada por las unidades de control e interpretan que el pedal del freno no está accionado.

- G100 Transmisor para la posición del pedal del freno
- J104 Unidad de control para el ABS
- J519 Unidad de control para la red de a bordo
- J533 Interfaz de diagnóstico para el bus de datos
- J623 Unidad de control de motor



12.46. Funcionamiento del transmisor para la posición del pedal del freno.

Al pisar el pedal del freno y desplazarse el émbolo con el anillo magnético delante del sensor (Hall 1), se sobrepasa el punto de conmutación de dicho sensor y la electrónica del transmisor genera una tensión de salida de 2 V por debajo de la tensión de la red de a bordo (señal ascendente). Las unidades de control, al detectar esta señal, interpretan que el pedal del freno está accionado.

Avería del transmisor

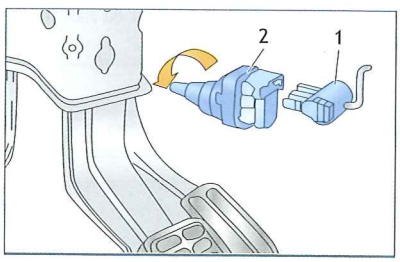
En caso de producirse una avería del transmisor o la ausencia de alguna de las dos señales, las luces de freno permanecen continuamente encendidas, aunque no se pise el pedal del freno. La avería del transmisor también afecta a la unidad de control del motor, de manera que en esta situación se disminuye la cantidad de combustible a inyectar y el motor entrega menos potencia. Adicionalmente se desactiva el programa de velocidad de crucero.

Técnica

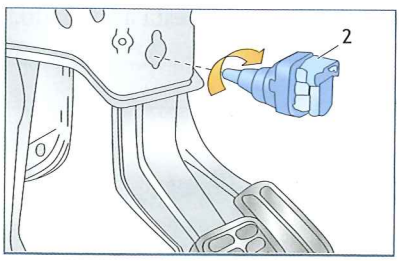
Sustitución y montaje de un conmutador de señal y luz de freno

•• Para sustituir un conmutador de señal y luz de freno llevamos a cabo los siguientes pasos:

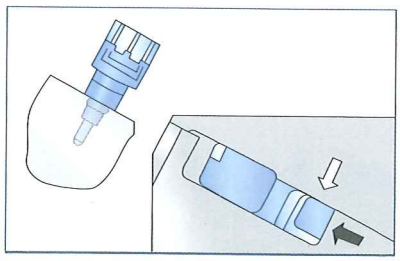
1. Accedemos a la ubicación del conmutador en el pedal del freno. Desconectamos (figura 12.47) el conector (1) del conmutador (2) y extraemos el conmutador de su alojamiento, girándolo unos 45° hacia la izquierda.
2. A continuación comprobamos las referencias y similitudes del repuesto con el conmutador extraído. Tomamos las precauciones debidas en la instalación y el ajuste del nuevo conmutador para no dañar el mecanismo interno. La posición del conmutador cuando se obtiene como repuesto es la de «conmutador desactivado».
3. Durante la instalación del conmutador, sujetamos el pedal en su posición de reposo. Colocamos el conmutador en el orificio (2) del pedal (tiene una única posición), presionamos ligeramente el conmutador contra el pedal para ajustar su posición y lo giramos hacia la derecha unos 45° para fijarlo (figura 12.48). Una vez montado, el conmutador queda en la posición «conmutador activado» y ya se puede comprobar su funcionamiento.
4. Al girar el conmutador a su posición final se deberá oír un clic, que indica que se ha cerrado el ajuste del émbolo. Se considera que el conmutador está bien montado (figura 12.49) cuando el borne interno del mismo (flecha blanca) está bien introducido, hasta el final de la ranura del armazón (flecha negra).



12.47. Desconexión del conmutador.



12.48. Instalación del nuevo conmutador.



12.49. Conmutador bien montado.

5. Para terminar, conectamos el conector al conmutador y comprobamos su perfecta fijación.
6. Pisamos el pedal del freno y comprobamos su funcionamiento y la activación de las luces de freno.
7. Después recolocamos las cubiertas o protecciones desmontadas en el proceso.

Una vez instalado y verificado el correcto funcionamiento del conmutador, se procede a borrar los códigos de avería del conmutador de freno que pudieran haber quedado inscritos en la memoria del sistema.

8 >> Control del sistema de frenos

La seguridad activa de un vehículo depende directamente del sistema de frenos. Es de vital importancia realizar un mantenimiento periódico de sus componentes y una correcta diagnosis de las averías, así como comprobar y/o sustituir los componentes necesarios para su reparación. La ley prescribe periodos reglamentarios para realizar la inspección del sistema de frenos (ITV).

8.1 > Revisión y mantenimiento

El desgaste normal de los componentes de fricción del sistema de frenos (forros de fricción, discos y tambores) requiere un mantenimiento periódico. Además de revisarse regularmente el sistema en bancos de prueba de frenos, los siguientes componentes de su circuito hidráulico deben someterse a un control de su funcionamiento y mantenimiento:

- Cilindro principal o bomba de freno.
- Cilindros receptores de freno de las ruedas.
- Manguitos flexibles de freno.
- Tuberías de freno.
- Nivel y estado del líquido de frenos.

8.2 > Proceso del diagnóstico de averías

En el proceso de diagnóstico, además de verificar la avería declarada por el conductor, se debe examinar visualmente la existencia de daños mecánicos.

Antes de comenzar ha de comprobarse lo siguiente:

- El estado de las llantas y los neumáticos.
- La presión de inflado de los neumáticos.
- La presencia de fugas de líquido de frenos en el circuito hidráulico.
- El nivel del líquido de frenos.
- La presencia de agua en el líquido de frenos.

Prueba de conducción

La prueba de conducción se utiliza para verificar los síntomas indicados por el conductor y detectar la anomalía causante de la avería.

Se comienza la prueba en carretera, con una comprobación general del funcionamiento de los frenos. En función de la irregularidad que presenten, estos se prueban a determinadas velocidades, pisando el pedal tanto con fuerza como con suavidad y evitando en todo momento el bloqueo de las ruedas.

Ha de averiguarse si la anomalía se produce en el sistema de frenos del tren delantero o del tren trasero. Para ello, se utiliza primero el pedal del freno y a continuación el freno de mano. Si la anomalía presentada son, por ejemplo, tirones, vibraciones o pulsaciones y estas se producen al emplear el freno de estacionamiento, significa que afecta al sistema de frenos del tren trasero. Si la anomalía se presenta al pisar el pedal del freno, significa que afecta a los frenos del tren delantero.

9 >> Comprobación y verificación de los componentes del sistema de frenos

Tanto en el mantenimiento periódico de los componentes del sistema de frenos, como en el propio proceso de verificación o en la comprobación necesaria para solucionar las anomalías que genera una avería en dicho sistema, se deben tener siempre en cuenta las indicaciones dadas por el fabricante para realizar los procesos de desmontaje y montaje de los componentes, así como comparar con los suyos los datos obtenidos en las distintas verificaciones.

9.1 > Comprobación de los forros de freno

12.50. Mirilla situada en una pinza de freno para comprobar el espesor de las pastillas.

Los forros de freno de las pastillas y las zapatas es la parte más expuesta a sufrir desgaste, dado que la deceleración del vehículo se consigue presionándolos contra la superficie de los discos y tambores de freno.

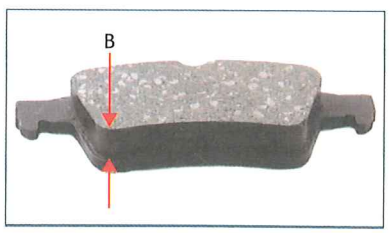
Su desgaste depende de su calidad, de su coeficiente de rozamiento, de la frecuencia de utilización de los frenos (tipo de conducción) y de la carga del vehículo.

Por lo general, las pastillas de freno disponen de indicadores de desgaste que se activan cuando su espesor se reduce hasta un valor aproximado de 3,5 mm. Para advertir del hecho al conductor se ilumina un testigo en el cuadro de instrumentos o aparece un sonido.

Una comprobación del desgaste de los forros de freno con las ruedas montadas puede inducir a errores, por lo que es conveniente desmontarlas.

Cuando se sustituyan las pastillas o las zapatas de freno, también debe comprobarse el estado de los discos o tambores, ya que, si fuera defectuoso, producirían un desgaste prematuro de los nuevos forros.

En algunas disposiciones del freno de disco, las pinzas de freno disponen de una mirilla (figura 12.50) que permite comprobar el espesor de las pastillas de freno. Este modo de comprobación tiene, sin embargo, el inconveniente de que no permite observar todos los posibles defectos que pueden presentar las pastillas.



12.51. Espesor del forro de las pastillas del freno de disco. Por norma general, el espesor mínimo no debe ser inferior a 2 mm.

Pastillas de freno

Las pastillas deberán sustituirse cuando se observe cristalización (endurecimiento) de la superficie de fricción, un desgaste irregular (hendiduras), forma cóncava o convexa del centro (causa de generación de ruido) o cuando se haya alcanzado el espesor mínimo.

Una vez desmontada la rueda y la pinza de freno correspondientes, se retiran las pastillas de freno y se comprueba con un calibre si el espesor (B) de la parte más delgada y desgastada de la pastilla (figura 12.51) es inferior al límite estipulado por el fabricante.

Si se observa una gran diferencia en el espesor de las pastillas interior y exterior, hay que comprobar las partes móviles de la pinza o mordaza.

Siempre que se sustituyan unas pastillas, también hay que sustituir las de la otra rueda del mismo eje.

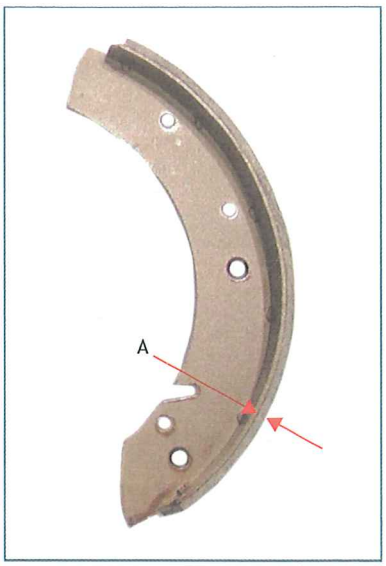
Una vez sustituidas las pastillas de freno y realizado el montaje de la pinza, ha de comprobarse, pisando el pedal del freno, que las pastillas se desplazan correctamente hacia la superficie del disco y que, al soltarlo, las pastillas se separan del disco, permitiendo su giro libre.

Las pruebas severas de frenado no se deben realizar hasta que los componentes sustituidos se hayan asentado en su posición, ya que, hasta entonces, no frenarán eficazmente.

Zapatas de freno

Una vez desmontadas la rueda y el tambor de freno, se comprueba que la superficie de los forros de las zapatas no presenta cristalización, desgaste irregular, fisuras o rotura de elementos.

Ha de verificarse, con un calibre situado en el lugar más desgastado del forro de las zapatas de freno (figura 12.52), que el grosor (A) no es, por lo general, inferior a 1 mm en los turismos y a 4 mm en los vehículos industriales.



12.52. Espesor del forro de las zapatas del freno de tambor.

Si existe una gran diferencia entre el espesor de la zapata primaria y la secundaria, se debe comprobar con precaución el correcto deslizamiento del cilindro de la rueda o bombín.

Siempre que se sustituyan unas zapatas, también hay que sustituir las de la otra rueda del mismo eje. Además, antes hay que comprobar que están homologadas conforme a la normativa ECE-R90.

Los fabricantes suministran como recambio un kit de freno de tambor que facilita el montaje. Este contiene todos los componentes necesarios para la reparación de los frenos de tambor: zapatas, reguladores, resortes y lubricante para frenos. El kit los presenta montados y listos para la instalación (figura 12.53) o por separado.

12.53. Kit para freno de tambor con los componentes montados.

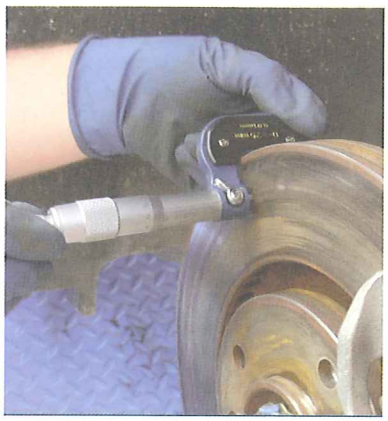
9.2 > Comprobación de los discos de freno

Los discos de freno están menos expuestos al desgaste que los forros debido al material del que están fabricados. A pesar de ello, necesitan un mantenimiento periódico basado en la comprobación visual de que su superficie no presenta desgaste excesivo, fisuras, grietas o corrosión.

La durabilidad de los discos de freno está muy relacionada con la calidad de las pastillas de freno que se usen; si es baja, suele provocar un desgaste prematuro del disco o la aparición de ruido excesivo.

Si la fricción entre las superficies del forro de las pastillas y el disco es irregular, se producen vibraciones que se convierten en ondas sonoras que son percibidas por el conductor como ruido de frenos. Otros factores que influyen en la generación de ruidos provocados por los forros de las pastillas de freno son la presión de frenado, la temperatura de los discos, la velocidad del vehículo y las condiciones climáticas.

Las verificaciones básicas que deben llevarse a cabo en los discos de freno son su espesor y su descentrado.



12.54. Verificación de las diferencias de espesor de un disco delantero.

Diferencias de espesor (paralelismo) y desgaste

La comprobación del espesor forma parte del mantenimiento básico de los discos de freno. Cuando estos están al límite de su desgaste se corre el riesgo de que se produzcan grietas en su superficie, un calentamiento excesivo en las frenadas, daños en los elementos de sellado (retenes, copelas, etc.) o cristalización de los forros de las pastillas de freno por exceso de temperatura.

Para verificar el espesor del disco de freno se utiliza un micrómetro de exteriores de la escala adecuada. El espesor se mide en 8 posiciones, a una distancia aproximada de 45° entre una y otra y a unos 15 mm del borde exterior del disco.

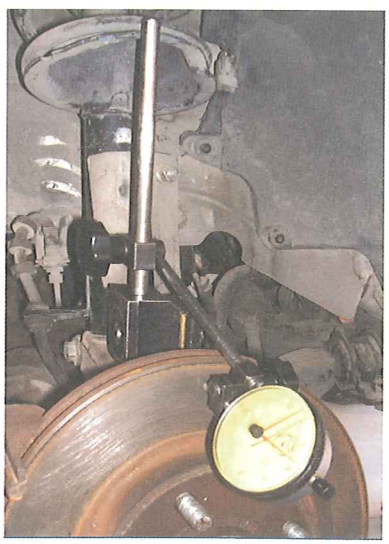
Si alguna de las lecturas tiene una variación superior a 0,015 mm o el espesor del disco de frenos es inferior al mínimo especificado por el fabricante (por lo general el máximo desgaste suele ser de 2 mm), se deben sustituir tanto este como las pastillas de freno, ya que las diferencias de espesor del disco pueden provocar pulsaciones, vibraciones y saltos en el pedal del freno.

Descentrado del disco de freno

Cuando el descentrado del disco de freno es superior al permitido, se pueden presentar en el pedal del freno vibraciones perceptibles por el conductor y que reducen la eficacia de frenado.

Para comprobar el descentrado del disco se siguen estos pasos:

1. Se calza y se levanta el vehículo en un elevador de dos columnas.
2. Se fija la base magnética de un reloj comparador en una superficie adecuada por la parte interior de la rueda y el palpador del reloj comparador se apoya sobre la superficie interior del disco, a unos 10 mm de su borde exterior.
3. Se gira la rueda lentamente y se anota la lectura del reloj comparador. El descentrado máximo del disco de freno ensamblado en el cubo de rueda no debe superar, por lo general, los 0,05 mm.
4. Se realiza una marca de referencia en la posición en la que se encuentran la rueda y el cubo de rueda y se desmontan la rueda y el conjunto de freno (pinza y pastillas). La pinza se fija a un punto para que no permanezca descolgada.
5. Se colocan los tornillos de la rueda sobre el disco de freno con un apriete de 10 Nm para fijar el disco en su posición.
6. El reloj comparador y su base magnética vuelven a colocarse para comprobar el descentrado del disco de freno en sus caras interior y exterior. La lectura total no debe superar, por lo general, los 0,05 mm.
7. El palpador del reloj comparador se coloca a 10 mm del borde exterior del disco (figura 12.55).
8. Se gira el disco lentamente por medio del semiárbol de transmisión y se anotan las lecturas del reloj comparador.
9. Se comprueba la variación del grosor del disco de freno. Si el valor obtenido es superior a 0,015 mm o el espesor es inferior al valor especificado por el fabricante, se debe sustituir dicho disco de freno y comprobar de nuevo el descentrado del disco.



12.55. Verificación del descentrado del disco de freno por su parte exterior.

Si todas las mediciones que se han efectuado están dentro de las especificaciones del fabricante, se debe proceder a la comprobación del equilibrado de las ruedas.

En el caso de que la medición del descentrado con la rueda desmontada sobrepase el límite especificado, ha de verificarse el descentrado de la cara del cubo de rueda de la siguiente forma:

1. Se realiza una marca de posicionamiento entre el disco de freno y el cubo de rueda y se desmonta el disco de freno. Se limpia la cara del cubo de rueda de restos de óxido y suciedad.
2. Se fijan la base magnética del reloj comparador y el palpador del reloj sobre la superficie del cubo de rueda a unos 10 mm del borde exterior.
3. El cubo de rueda se gira lentamente y se anotan las lecturas obtenidas por el reloj comparador.

Si el valor obtenido en la medición del descentrado del cubo de rueda es superior, por lo general, a 0,03 mm, hay que sustituirlo. De lo contrario, lo que se debe sustituir es el disco de freno.

9.3 > Comprobación de los tambores de freno

Al igual que los discos, los tambores de freno están menos expuestos al desgaste que los forros de freno, pero necesitan de un mantenimiento periódico, comprobándose visualmente que su superficie no presenta desgaste excesivo, fisuras, grietas o corrosión. Además, durante su funcionamiento, los tambores de freno deben soportar altas presiones y variaciones de temperatura, por lo que la eficacia de frenado depende en gran medida de su calidad y su estado.

Los tambores de freno pueden presentar desgaste interior, ovalización y, en algunos casos, dureza en ciertos puntos del giro por sobrecalentamiento. Su falta de redondez provoca un sobrecalentamiento que es advertido por el conductor por un bombeo en el pedal del freno.

Comprobación del diámetro interior del tambor

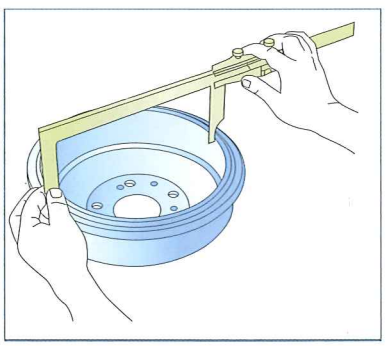
Una vez desmontado el tambor de freno, se mide, con un calibre de la longitud adecuada, el diámetro de la superficie de fricción del tambor en dos o más puntos y se comparan los valores obtenidos con los especificados por el fabricante.

Se debe proceder a la sustitución del tambor de freno cuando el diámetro interior supere el valor límite (por lo general es de 2 mm) o presente un desgaste irregular.

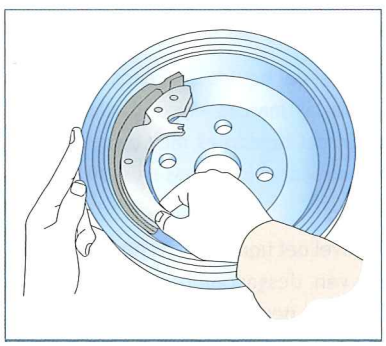
Comprobación del contacto de los forros y el tambor de freno

Con el tambor y las zapatas de freno desmontadas, se impregna con tiza la superficie de fricción del tambor de freno y se pone en contacto con el forro de la zapata, ejerciendo cierta fricción.

A continuación, se observa sobre la superficie del forro de la zapata la superficie impregnada por la tiza. Si el área de contacto es irregular, hay que sustituir el conjunto de las zapatas y/o los tambores de freno. Tras la comprobación también hay que eliminar los restos de tiza.



12.56. Comprobación del diámetro interior de un tambor de freno.



12.57. Comprobación de la superficie de contacto en los tambores de freno.

9.4 > Comprobación del servofreno de vacío

El funcionamiento correcto del servofreno depende en gran medida del vacío aplicado al mismo.

Antes de comprobar su funcionamiento, se debe confirmar que no existen fugas en el circuito hidráulico de freno y que el nivel del líquido no está por debajo del indicado.

Comprobación del sistema de vacío

Con la caja de cambios en punto muerto, se detiene el motor y se acciona el freno de estacionamiento. Entonces se pisa el pedal del freno las veces necesarias para eliminar todo el vacío del sistema.

A continuación se pisa el pedal del freno y se mantiene así mientras se arranca el motor. Si el sistema de vacío funciona con normalidad el pedal del freno tenderá a desplazarse hacia abajo. Si no se observa tal movimiento, el sistema de vacío no funciona con normalidad. En este caso se desconecta el manguito de vacío del servofreno y, con el motor a ralentí y la caja de velocidades en punto muerto, se comprueba si en su extremo existe vacío.

Una vez confirmada la existencia de vacío en el manguito, se vuelve a conectar al servofreno y se repite la prueba. Si no se percibe el desplazamiento hacia abajo del pedal del freno, el servofreno se debe sustituir.

Comprobación de la retención de vacío

Se pone en funcionamiento el motor con la caja de cambios en punto muerto. El motor se deja a ralentí durante 15 segundos aproximadamente. Después se para el motor y se espera alrededor de 10 minutos. A continuación, se pisa el pedal del freno; el tacto debe ser igual al que posee con el motor en funcionamiento. En caso contrario, se sustituye la válvula de retención de vacío y vuelve a realizarse la prueba. Si el tacto del pedal sigue siendo duro, se ha de sustituir el servofreno.

9.5 > Comprobación de la bomba de freno

La absorción de agua por el líquido de frenos provoca la corrosión del interior de las cámaras de la bomba, lo que va generando el desgaste de las guarniciones al perder esta su estanqueidad. Esto provoca que se vaya perdiendo el poder de formación de presión de frenado y que el pedal del freno se desplace más de lo normal.

Los cambios de comportamiento o de recorrido del pedal del freno al ser accionado son un síntoma de que hay alguna avería en la bomba (pérdida de estanqueidad en la guarnición primaria o en la de separación) indican lo siguiente:

- Si el pedal del freno desciende demasiado rápido o demasiado lento, puede indicar que existe una fuga interna o externa del líquido de frenos en la bomba.
- Si el pedal del freno se encuentra en posición muy baja o con tacto blando al accionarlo, puede deberse a que no hay líquido de frenos en el depósito o a la obturación de la ventilación del depósito del líquido de frenos.

Comprobación del nivel del líquido de frenos

El nivel del líquido de frenos debe estar entre las marcas «Max» y «Min». Si el nivel del líquido es muy bajo, se debe comprobar si hay fugas en el sistema de frenos.

El nivel del líquido de frenos baja según se van desgastando las pastillas de freno. Es necesario, por tanto, controlar el nivel al sustituir las pastillas de freno y retraer el pistón de las pinzas de freno.

Comprobación de existencia de fugas internas

Antes de comenzar la comprobación, se llena el depósito de freno hasta la posición «Max». A continuación, se pisa varias veces el pedal del freno, observando el nivel del líquido del depósito. Si el nivel no varía, se procede a medir el par de giro de las ruedas que se tiene que aplicar para que estas giren con los frenos activados, de la siguiente forma:

1. Se sitúa la caja de cambios en punto muerto y el vehículo sobre un elevador de dos columnas.
2. Con la ayuda de otro operario, se acciona el pedal del freno con una fuerza de unos 445 N y se mantiene esta posición durante un tiempo aproximado de 15 segundos. En las ruedas delanteras se aplica un par de 10 Nm. Si alguna de las ruedas gira, indica que existe fuga interna, por lo que se debe sustituir la bomba de freno.

Comprobación de existencia de fugas externas

Por lo general, existen dos anomalías que ocasionan fugas externas de líquido de frenos en la bomba y, por tanto, que se vacíe:

- La colocación incorrecta del tapón y la junta del depósito del líquido de frenos. Esto se resuelve colocando correctamente estos elementos.
- Una fuga externa en los retenes de montaje del depósito del líquido de frenos sobre la bomba. En este caso hay que sustituir los retenes.

12.58. Tapón y junta del depósito de líquido de frenos.

12.59. Retenes de montaje del depósito del líquido de frenos en la sección de una bomba.

9.6 > Comprobación de los manguitos flexibles y las tuberías metálicas

Los manguitos flexibles y las tuberías metálicas no requieren, en principio, un mantenimiento periódico, pero hay que tener en cuenta que están expuestos a las influencias externas, como la corrosión por humedad, el efecto de la sal de las carreteras en invierno o el impacto de los componentes sueltos de la calzada. Por tanto, conviene comprobar si las tuberías presentan corrosión y si los manguitos flexibles tienen puntos de roce o grietas. También se debe comprobar que en los puntos de unión de los manguitos flexibles con las tuberías rígidas y demás componentes del circuito hidráulico no existen fugas de líquido de frenos.

Los manguitos flexibles se deben sustituir si presentan rozaduras o grietas o si los cilindros de freno se retiran con dificultad.

9.7 > Purgado y sustitución del líquido de frenos

Antes de realizar los procesos de purgado y sustitución del líquido de frenos, ha de tenerse en cuenta lo siguiente:

- El vehículo debe encontrarse sobre una superficie nivelada.
- Es necesaria la intervención de dos operarios, uno en el interior del vehículo, para accionar el pedal del freno, y otro en el exterior, para abrir y cerrar los purgadores.
- Si la disposición del circuito hidráulico de frenos del vehículo es en X, se deben realizan estos procesos en el siguiente orden: rueda trasera derecha, rueda delantera izquierda, rueda trasera izquierda y rueda delantera derecha.

Precauciones con el líquido de frenos

El líquido de frenos contiene éteres de poliglicol y poliglicoles, por lo que se debe evitar su contacto con los ojos, además de lavarse bien las manos después de su manipulación.

En caso de que entre líquido de frenos en los ojos, hay que lavárselos con abundante agua fría durante 15 minutos. Si la irritación persiste, se debe acudir al médico.

Si se ingiere accidentalmente, hay que beber agua y provocar el vomito, además de acudir al médico inmediatamente.

Si no se respetan estas advertencias se pueden originar graves lesiones.

En caso de derramar líquido de frenos sobre la pintura del vehículo, es necesario lavar inmediatamente la zona afectada con agua fría.

12.60. Llenado del depósito de frenos.

12.61. Apertura del purgador del freno.

Purgado del sistema de frenos

Siempre que se actúe en el circuito hidráulico y se produzca una salida del líquido de frenos, en necesario realizar un proceso de purga del mismo.

Antes y durante la operación, se debe comprobar que el depósito del líquido de frenos está lleno de líquido nuevo y limpio.

El purgado del líquido de frenos se realiza de la siguiente forma:

1. Se monta un tubo de purga transparente ajustado en el purgador.
2. Se sumerge el extremo del tubo de purga en un recipiente de purga transparente con una pequeña cantidad de líquido de frenos homologado. La base del recipiente deberá situarse al menos a 30 cm por encima del purgador, para mantener la presión del líquido.
3. Se bombea el pedal del freno varias veces hasta que adquiera dureza.
4. Con el pedal del freno pisado a tope y manteniendo esta posición, se abre el purgador correspondiente y se deja salir el líquido de frenos y el aire que contenga.
5. Se cierra el purgador y se suelta el pedal del freno.
6. Se llena el depósito del líquido de frenos hasta la marca «Max».
7. Se repite la misma operación hasta que salga al depósito de purga líquido de frenos sin aire.
8. Se continúa con el resto de los cilindros de rueda.

Hay que asegurarse de colocar el protector del purgador después de purgar para evitar la formación de corrosión y que pueda llegar a bloquearse.

Sustitución del líquido de frenos

El líquido de frenos debe ser sustituido como máximo cada dos años. Se debe utilizar en cada sustitución el líquido de frenos recomendado, nuevo y de un envase precintado. No se puede utilizar nunca el líquido usado.

Para una sustitución manual es necesaria la intervención de dos operarios, y se deben realizar los siguientes pasos:

1. Se llena el depósito de líquido de frenos nuevo (figura 12.60).
2. Se quita la tapa del purgador correspondiente y se le conecta el extremo de un manguito de vinilo. El otro extremo del manguito se introduce en un recipiente transparente.
3. Se pisa el pedal del freno y se abre el purgador media vuelta (figura 12.61). Se llena el depósito del líquido de frenos, evitando que este pueda quedar vacío.
4. Se bombea el líquido de frenos pisando repetidas veces el pedal del freno hasta observar que sale líquido de frenos nuevo. Se aprovecha para realizar el proceso de purga en la misma operación, por lo que seguiremos bombeando hasta que salga líquido de frenos sin aire.
5. Con el pedal del freno pisado a tope, se cierra el purgador, asegurándonos de colocarle la tapa después del proceso.
6. Se continúa con el mismo proceso en los restantes frenos de las ruedas. No hay que olvidarse de controlar el nivel del líquido del depósito.
7. Una vez terminado el proceso en los frenos de rueda, se comprueba el nivel del líquido del depósito dejándolo entre las marcas «Max» y «Min».

9.8 > Comprobación de los cilindros de freno de rueda

En los cilindros de rueda las guarniciones están sometidas a desgaste. La falta de estanqueidad puede provocar la corrosión de las paredes del cilindro y la salida del líquido de frenos al exterior impregnando la superficie de los forros de fricción. Para mantener su correcto funcionamiento han de comprobarse la presión y las guarniciones, así como los componentes del cilindro.

Comprobación de la presión y las guarniciones

La presión del circuito hidráulico y el estado de las guarniciones se puede analizar estableciendo tres niveles de presión, instalando un manómetro en el purgador de cada cilindro de rueda del tren que se quiera comprobar:

- **Baja presión:** se pisa el pedal del freno con un posicionador, estableciendo una presión en el circuito hidráulico de 2 a 5 bares. Durante unos 5 minutos la presión no debe descender del valor establecido.
- **Alta presión:** se eleva la presión hasta una medida de 80 a 100 bares. Durante 10 minutos, se comprueba que la presión ha descendido, como máximo, un 10% del valor establecido.
- **Presión inicial de alimentación:** se retira el posicionador del pedal y, así, la presión desciende. Durante 5 minutos la presión no deberá alcanzar, en general, un valor menor de 0,4 bares.

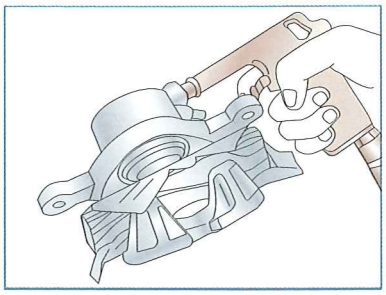
Comprobación de los componentes del cilindro de freno

Para desmontar e inspeccionar los componentes del cilindro de freno se realiza lo siguiente:

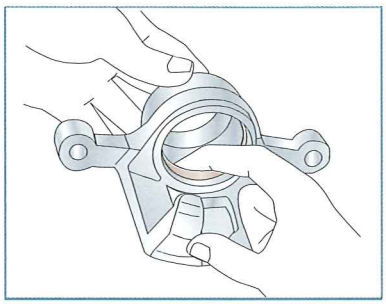
1. Una vez desmontada la pinza de freno, se utiliza un elemento blando, como un trozo de madera, para proteger la cara exterior del cuerpo de la pinza de freno y el pistón. A continuación, por el orificio de entrada del líquido de frenos, se inyecta aire a presión (figura 12.62) para extraer el pistón.
2. Se quita la junta guardapolvo y se desecha.
3. Se quita el retén del pistón empujándolo con la punta del dedo y se desecha igualmente (figura 12.63). Para evitar daños en el cilindro interior, no deben utilizarse destornilladores u otras herramientas similares.
4. Se verifica que el pistón de la pinza y su alojamiento no tienen restos de óxido ni están rayados y, si fuera necesario, se sustituye el pistón.

Para volver a montar el conjunto, se deben seguir los siguientes pasos:

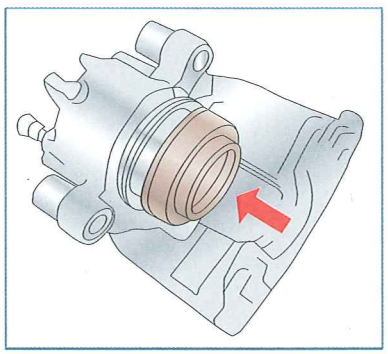
1. Se lubrican el orificio del alojamiento del pistón, el retén y el pistón con el líquido de frenos especificado.
2. Se coloca el nuevo retén, que encaja dentro de la ranura mecanizada en el orificio de alojamiento del pistón.
3. Se coloca la nueva junta guardapolvo sobre el pistón y este se introduce en el orificio del alojamiento de la pinza (figura 12.64). Al colocarlo en el orifico de su alojamiento, se debe evitar rayar o dañar el pistón.
4. Se asienta la junta guardapolvo en su posición.
5. Se coloca la pinza de freno en el vehículo y se lubrican los puntos señalados en la figura 12.65 con un lubricante específico.



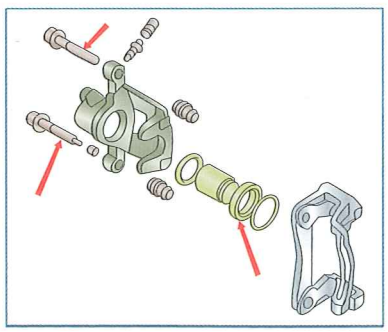
12.62. Inyección de aire a presión por el orificio de entrada del líquido de frenos.



12.63. Extracción del retén.



12.64. Colocación del pistón en su alojamiento con la junta guardapolvo.



12.65. Puntos de lubricación de la pinza de freno.

10 >> Frenómetro

10.1 > Características

El frenómetro es un equipo que se utiliza para realizar las pruebas de eficacia del sistema de frenos. Su uso aporta precisión y rapidez en el control de la fuerza de frenado aplicada a cada una de las ruedas de los vehículos.

Las principales ventajas que supone la utilización del frenómetro se describen a continuación:

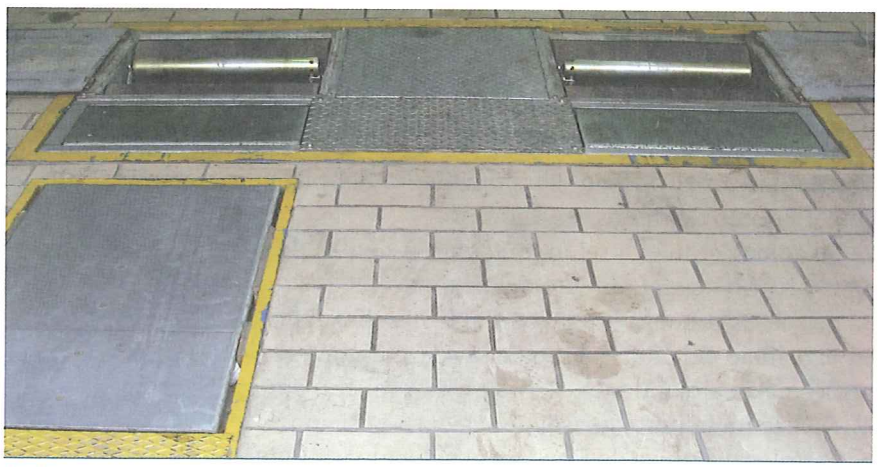
- Se eliminan las pérdidas de tiempo y los peligros derivados de tener que efectuar las pruebas del sistema de frenos en una prueba de circulación por carretera.
- Al realizar las pruebas dentro del taller, estas no se ven alteradas por las variaciones del estado de la calzada o las posibles inclemencias derivadas de las condiciones meteorológicas.
- Se puede realizar la prueba general del sistema del freno de servicio y del freno de estacionamiento con gran precisión.
- Se puede obtener la eficacia de frenado por cada una de las ruedas del tren delantero y del tren trasero del vehículo.
- Se obtiene un diagnóstico rápido de las anomalías producidas en cada una de las ruedas, que se complementa con una inspección visual.
- Es posible controlar el equilibrado de las fuerzas de frenado en cada uno de los ejes del vehículo.

10.2 > Constitución

El frenómetro está constituido por cuatro rodillos giratorios. En cada par de rodillos se apoya cada una de las ruedas del tren que se va a comprobar (cada eje se analiza por separado). Para hacerlas girar, se utilizan potentes motores eléctricos.

Los rodillos transmiten la información de la prueba realizada a un sistema informático que muestra los datos en una pantalla de control. Así, el frenómetro básicamente mide, para cada rueda, el valor del esfuerzo realizado en el frenado para detener el vehículo.

12.66. Ubicación del rodillo de base.



12.67. Ubicación de la plancha y los rodillos del frenómetro.

10.3 > Realización de la prueba en el frenómetro

La prueba del vehículo en el frenómetro se debe realizar de la forma indicada a continuación:

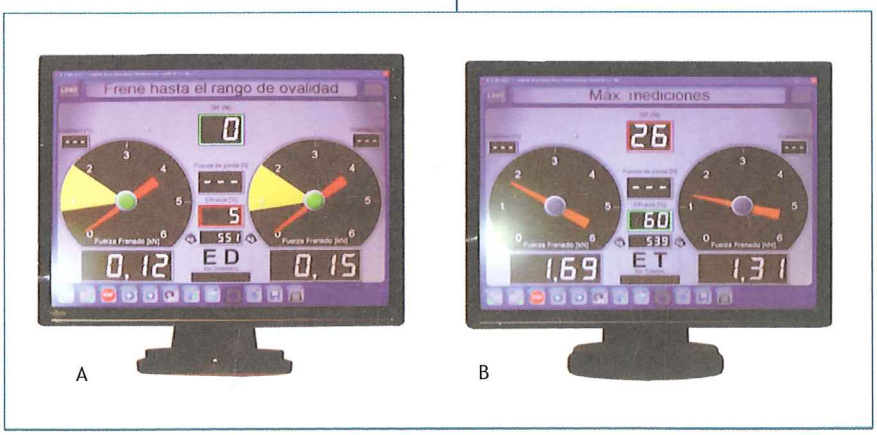
1. Se hace pasar el vehículo con las ruedas rectas por la plancha situada antes de los rodillos (figura 12.67). Esta plancha indica la alineación de los ejes del vehículo.
2. Se sitúan las ruedas del eje que se quiere medir sobre los rodillos; un rodillo de base situado entre los dos rodillos que gira libremente y sirve de guía. Al apoyar las ruedas sobre los rodillos se calcula el peso del eje del vehículo y los rodillos comienzan a girar.
3. La prueba da comienzo frenando suavemente y manteniendo la frenada de manera que los indicadores de la pantalla de control estén situados en la franja amarilla (figura 12.68.A) para comprobar la ovalidad de los frenos del vehículo (discos y tambores).
4. Una vez que desaparece la franja amarilla de la pantalla de control, se frena suavemente hasta que se logra ejercer una fuerza de frenado capaz de detener la velocidad de giro de los rodillos (entre 3 y 5 km/h).
5. En la pantalla de control aparece la fuerza de frenado alcanzada en cada una de las ruedas del vehículo y el desequilibrio producido entre una rueda y otra del mismo eje. La diferencia de la fuerza de frenado entre las ruedas de un mismo eje no puede ser superior a un 30%. Esta diferencia de la fuerza de frenado entre las ruedas determina la irregularidad en el frenado, lo que genera inestabilidad en el vehículo durante la acción de frenado.

El sistema informático del frenómetro, basándose en los datos recopilados relativos a la fuerza de frenado de las ruedas y el peso del vehículo, determina la eficacia del sistema de frenos (figura 12.68.B). Esta eficacia debe ser superior al 50% para el freno de servicio y superior al 16% para el freno de estacionamiento en vehículos de turismo.

10.4 > Pre-ITV

La inspección técnica de vehículos (ITV) tiene como objetivo garantizar que los vehículos en circulación mantengan unas condiciones de seguridad superiores a los mínimos exigidos para evitar el riesgo de accidente por causas técnicas. La pre-ITV consiste en realizar en el taller una revisión a fondo del estado del vehículo antes de realizar la ITV oficial.

En lo que respecta al sistema de frenos, en la pre-ITV se comprueba el nivel y el estado del líquido de frenos y el estado de los frenos de las ruedas (pastillas, zapatas, discos, etc.), sustituyéndose, si se encontraran, los elementos desgastados o en mal estado.



12.68. Resultados de las pruebas realizadas con el frenómetro.

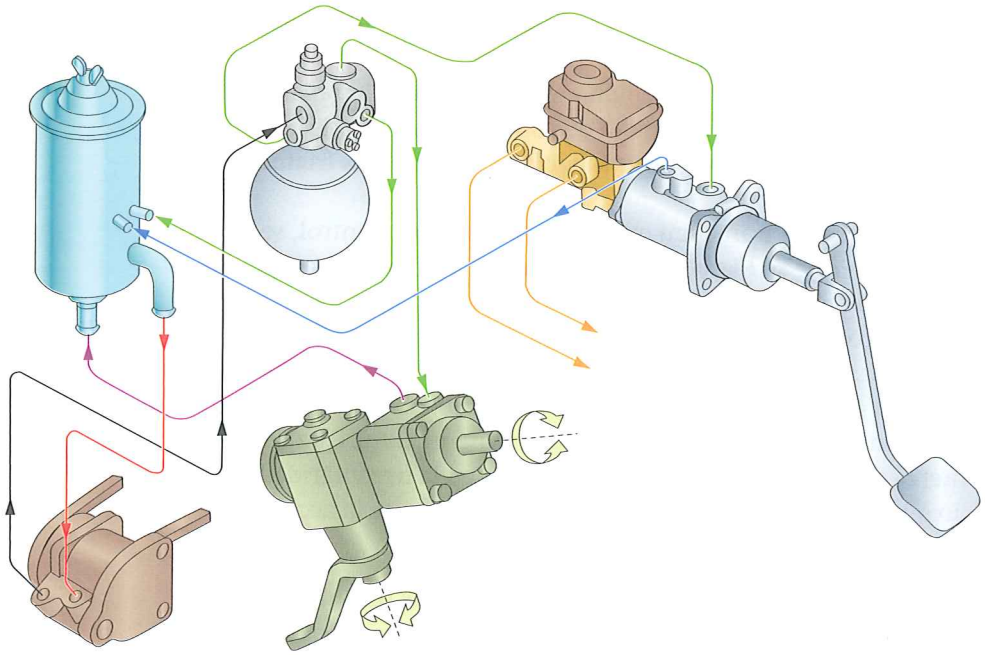
Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

1·· Dibuja la gráfica del funcionamiento de un servofreno indicando sus puntos característicos.

2·· Explica la fase de inicio de frenado de un servofreno de vacío Mastervac.

3·· Indica cuáles son los componentes principales del servofreno hidráulico de la figura:



4·· ¿Cuáles son las fases de funcionamiento de un servofreno Hidrovac? Da una breve explicación de cada una.

5·· Explica el funcionamiento del reductor de presión dependiente de la deceleración.

6·· ¿Cuándo deben sustituirse las pastillas de freno?

7·· ¿Qué consecuencias se derivan de la utilización de un disco de freno al límite de su desgaste?

8·· ¿Cuál puede ser la causa de que el pedal del freno del vehículo vibre?

9·· Describe el proceso de comprobación de un tambor de freno.

10·· Explica en qué consiste el proceso de purgado de un sistema hidráulico de frenos.

.: APLICACIÓN :.

1·· Sobre algún vehículo de tu taller que disponga de frenos de disco en el tren delantero y el tren trasero, realiza las siguientes operaciones de mantenimiento:

a) Comprobar el servofreno.
b) Verificar un disco de freno (espesor y descentrado), sustituir las pastillas de freno del tren delantero y el tren trasero e indicar las diferencias del proceso en cada uno de los trenes.
c) Desmontar y comprobar los cilindros de freno de una rueda. Después, realizar un proceso de purga del sistema hidráulico de frenos.

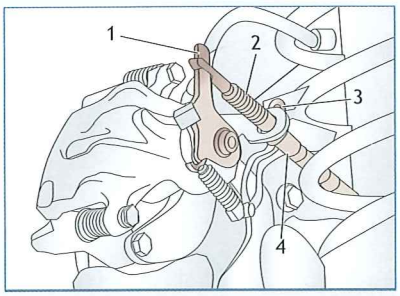
Caso final

Sustitución de las pastillas de freno del tren trasero

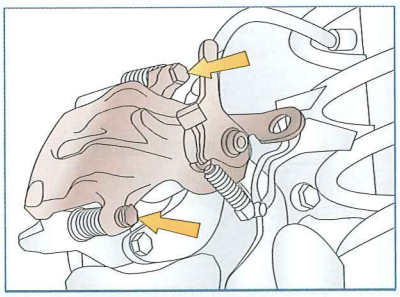
•• Un vehículo llega al taller con las pastillas de freno de la rueda trasera derecha en mal estado. Realiza la sustitución de las pastillas de freno de ruedas de ambas ruedas.

Solución •• Para **desmontar las pastillas** de un freno de disco trasero realizamos los siguientes pasos:

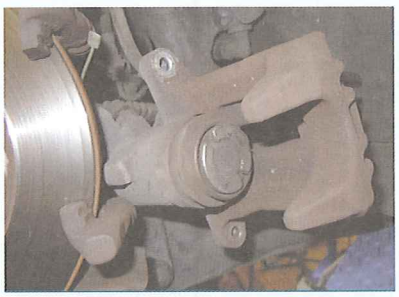
1. Aflojamos las tuercas de la rueda, subimos el vehículo en el elevador y extraemos la rueda.
2. Desconectamos el cable del freno de estacionamiento (figura 12.69). Para ello tiramos hacia atrás de la palanca del freno de estacionamiento (1), desconectamos el cable (2) de la palanca, quitamos el clip (3) de sujeción de la funda del cable y retiramos el cable y la funda (4).
3. Soltamos la pinza, aflojando los tornillos de unión (figura 12.70), y la sujetamos de manera que no quede suspendida del manguito de freno para que no sufra ningún daño, y retiramos las pastillas de freno (figura 12.71).



12.69. Desconexión del cable del freno de estacionamiento.



12.70. Tornillos que se deben extraer para desmontar la pinza.

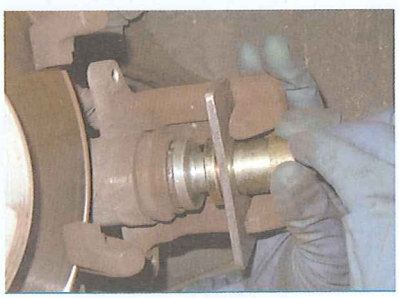


12.71. Pinza de freno desmontada y pastillas retiradas.

Para **sustituir las pastillas** y volver a **montar el conjunto del freno,** llevamos a cabo lo siguiente:

1. Con el útil adecuado (figura 12.72), roscamos el émbolo de la pinza de freno hasta llegar a su posición mínima (figura 12.73), controlando el nivel del depósito del líquido de frenos.
2. Montamos las nuevas pastillas de freno, de forma inversa al modo en que las hemos extraído.
3. Colocamos la pinza de freno (figura 12.74). Comprobamos que los resortes de retorno de las pastillas de freno quedan en su posición correcta y les damos a los tornillos de la pinza el apriete adecuado (35 Nm).
4. Colocamos el cable del freno de mano en el orden inverso al desmontaje (de 4 a 1).
5. Colocamos la rueda con los tornillos y repetimos el proceso para la rueda opuesta.
6. Bajamos el coche del elevador y aplicamos a los tornillos de las ruedas el par de apriete definitivo (85 Nm).

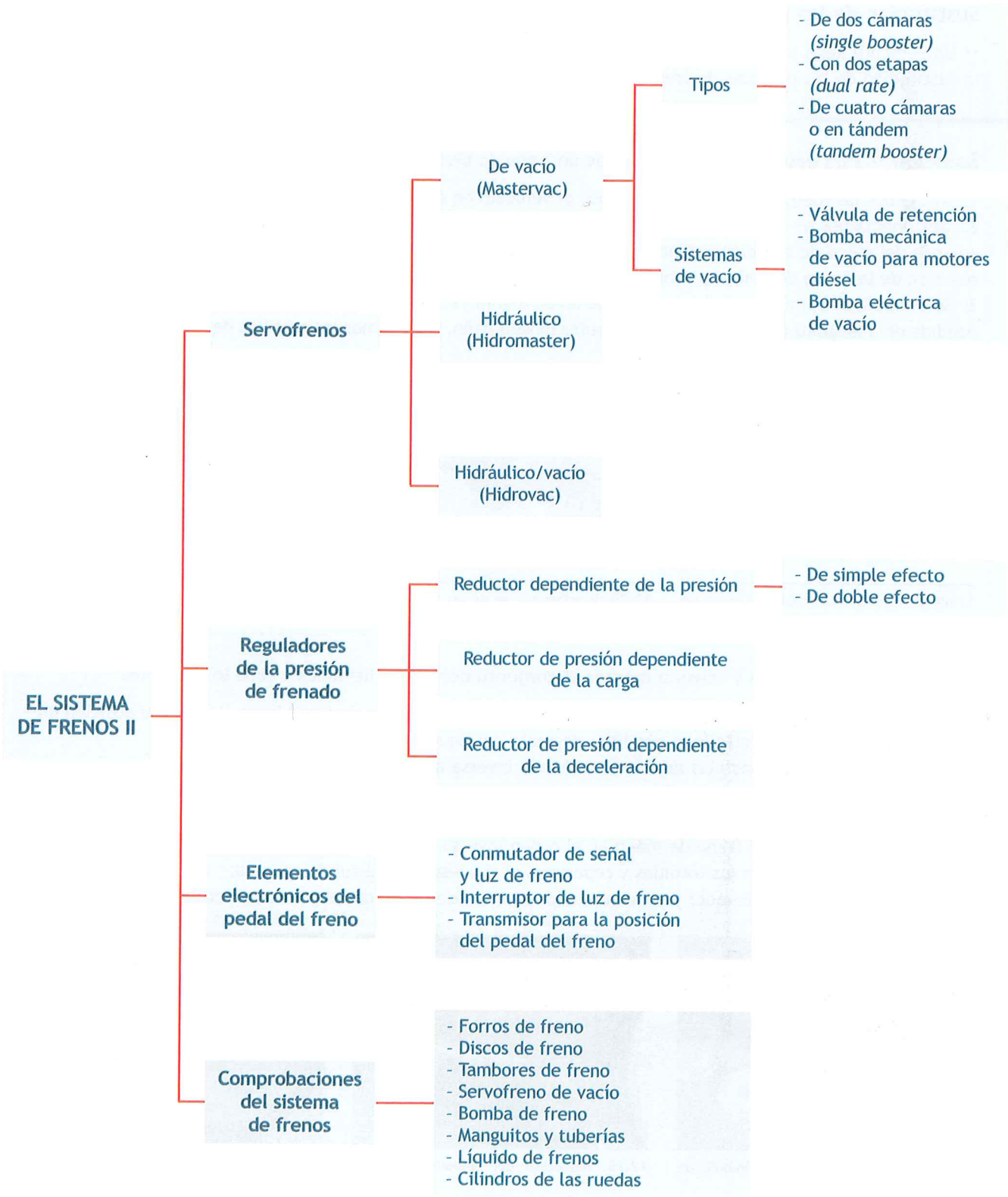
12.72. Útiles para retraer el émbolo de freno.



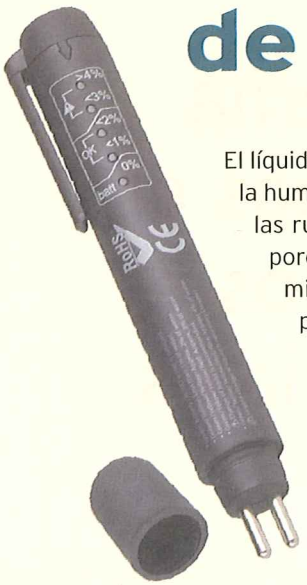
12.73. Retroceso del émbolo de freno.

12.74. Pinza de freno con las nuevas pastillas instaladas.

Ideas clave


EL SISTEMA DE FRENOS II
Servofrenos
De vacío (Mastervac)
Tipos
- De dos cámaras *(single booster)*
- Con dos etapas *(dual rate)*
- De cuatro cámaras o en tándem *(tandem booster)*
Sistemas de vacío
- Válvula de retención
- Bomba mecánica de vacío para motores diésel
- Bomba eléctrica de vacío
Hidráulico (Hidromaster)
Hidráulico/vacío (Hidrovac)
Reguladores de la presión de frenado
Reductor dependiente de la presión
- De simple efecto
- De doble efecto
Reductor de presión dependiente de la carga
Reductor de presión dependiente de la deceleración
Elementos electrónicos del pedal del freno
- Conmutador de señal y luz de freno
- Interruptor de luz de freno
- Transmisor para la posición del pedal del freno
Comprobaciones del sistema de frenos
- Forros de freno
- Discos de freno
- Tambores de freno
- Servofreno de vacío
- Bomba de freno
- Manguitos y tuberías
- Líquido de frenos
- Cilindros de las ruedas

Comprobador manual de líquidos de frenos



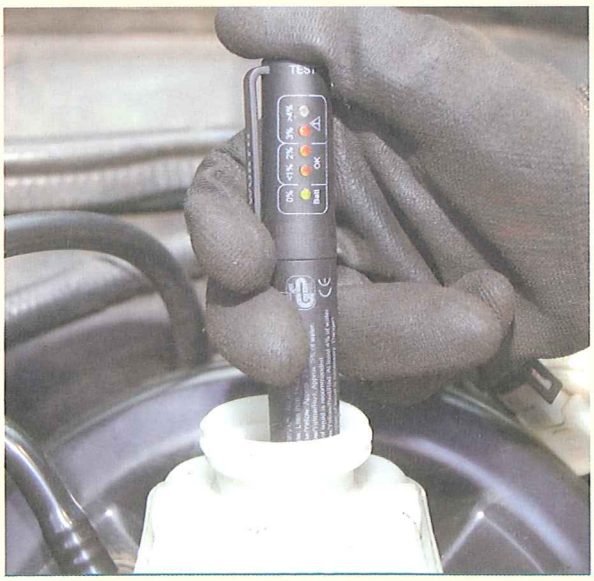
El líquido de frenos es higroscópico, es decir, tiene una alta capacidad de captación de la humedad del ambiente. La temperatura que se alcanza en los cilindros de freno de las ruedas durante el proceso de frenado se transmite al líquido de frenos y, si el porcentaje contenido de agua es muy alto, puede dar lugar a la ebullición de la misma. Aparece así el fenómeno conocido como *vapor-lock*, que provoca la pérdida de tacto del pedal del freno y un proceso de frenado más progresivo. Además, también puede existir riesgo de congelación, que provocaría la pérdida de eficacia del sistema de frenos.

Para detectar la presencia de agua en el líquido de frenos, se puede utilizar un comprobador manual.

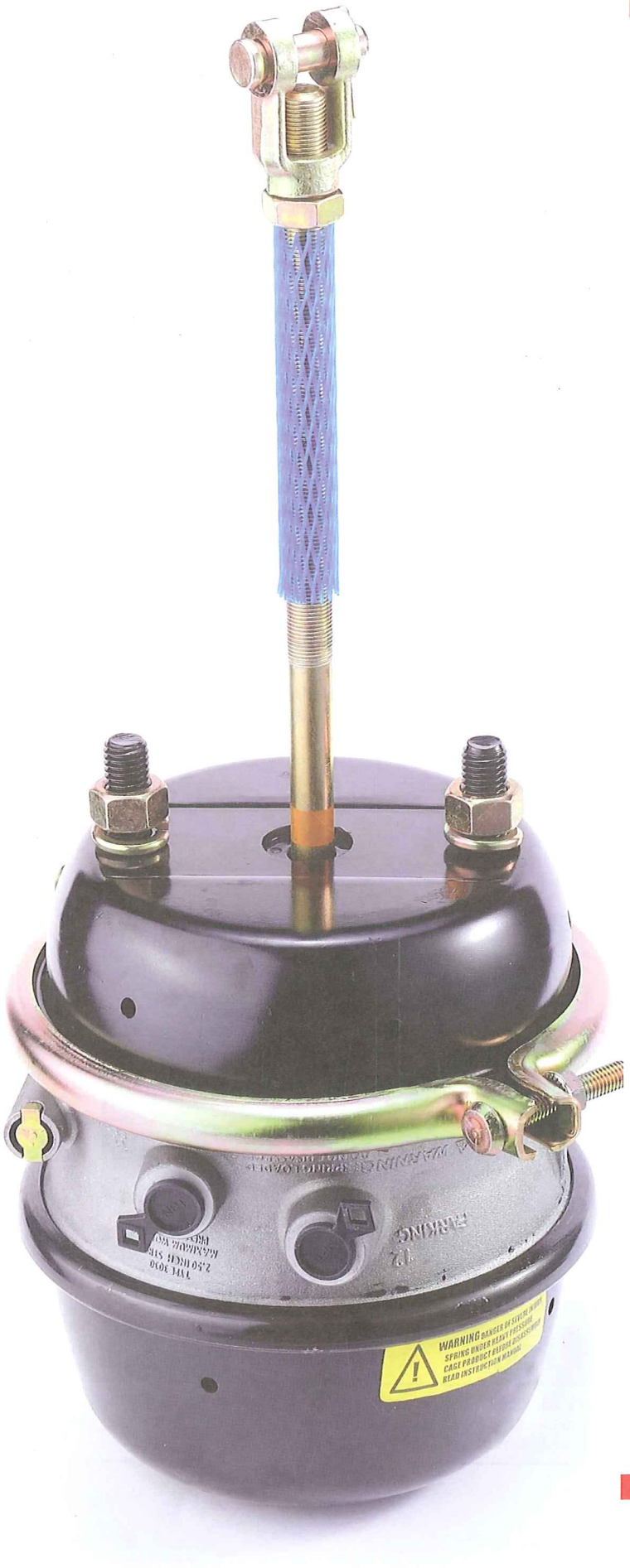
Este comprobador dispone de dos electrodos que se ponen en contacto con el líquido de frenos en el interior del depósito. Tiene cinco leds que se iluminan en función del porcentaje de agua contenido en el líquido de frenos:

- Nivel 1 (luz verde): 0%.
- Nivel 2 (luz ámbar): menos del 1%.
- Nivel 3 (luz ámbar): cerca del 2%.
- Nivel 4 (luz roja): cerca del 3%.
- Nivel 5 (luz roja): más del 4%.

12.75. Comprobación de presencia de agua en el líquido de frenos. Led verde, 0% de contenido de agua: el líquido está en buen estado.



12.76. Comprobación de presencia de agua en el líquido de frenos. Led rojo, cerca del 3% de agua: se debe sustituir inmediatamente el líquido de frenos.



unidad 13

El sistema de frenos en vehículos industriales

SUMARIO

- Sistemas de frenos utilizados en vehículos industriales: de accionamiento hidroneumático y neumático
- Componentes y funcionamiento del sistema de frenos de accionamiento neumático
- Deceleradores o *retarders*
- Sistemas de frenos en tractores

OBJETIVOS

- Conocer los distintos sistemas de frenos utilizados en vehículos industriales.
- Identificar los elementos de un sistema neumático de frenos y saber cómo funciona.
- Distinguir los distintos tipos de deceleradores utilizados en vehículos industriales y conocer su funcionamiento.

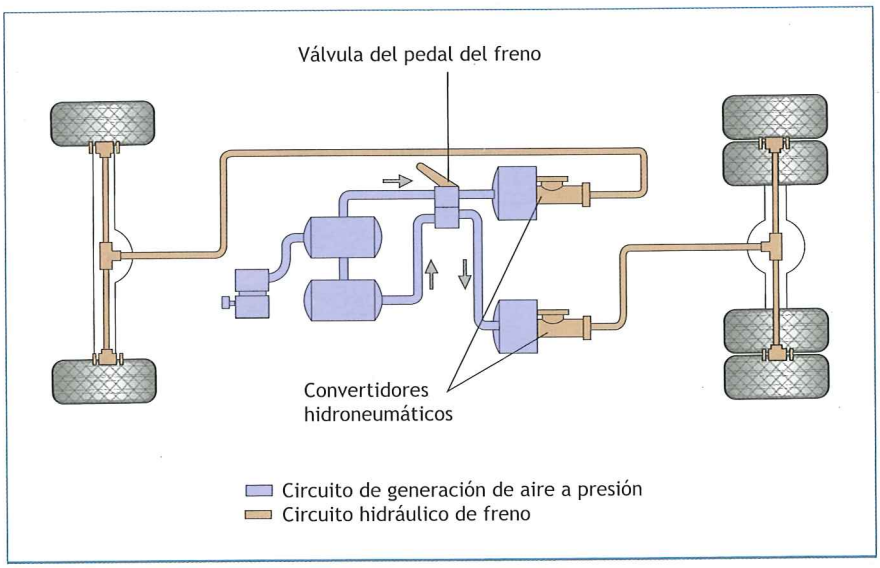
1 >> Sistema de frenos de accionamiento hidroneumático

El sistema de accionamiento hidroneumático fue diseñado para vehículos comerciales del segmento medio, donde solamente con el accionamiento hidráulico no se conseguía la fuerza necesaria frenar y un sistema de accionamiento enteramente neumático no era necesario. Este sistema, por tanto, combina las mejores características de los tipos de accionamiento hidráulico y neumático.

Utiliza frenos de disco o de tambor de accionamiento hidráulico como freno de servicio y, como freno de estacionamiento, los de accionamiento mecánico o los de accionamiento neumático.

El sistema se compone de:

- Un circuito de generación de presión neumática.
- Convertidores neumohidráulicos.
- Un circuito hidráulico de accionamiento, igual que el estudiado en los vehículos de turismo.



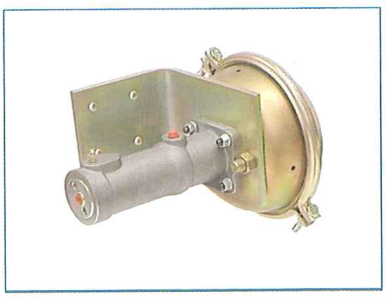
13.1. Circuito hidroneumático de freno.

1.1 > Convertidor neumohidráulico

Este elemento consiste en un cilindro neumático unido a una bomba de freno hidráulica. El vástago del cilindro neumático se encarga de accionar dicha bomba.

Cuando el pedal del freno se acciona, el aire comprimido pasa al cilindro neumático desplazando su vástago, el cual mueve el cilindro maestro de la bomba comprimiendo el líquido de frenos. Este líquido acciona los frenos de servicio delanteros y traseros.

Como el circuito de freno de servicio se divide en dos circuitos independientes, frenos delanteros y traseros, se emplea un convertidor neumohidráulico para cada uno de ellos.



13.2. Convertidor neumohidraulico.

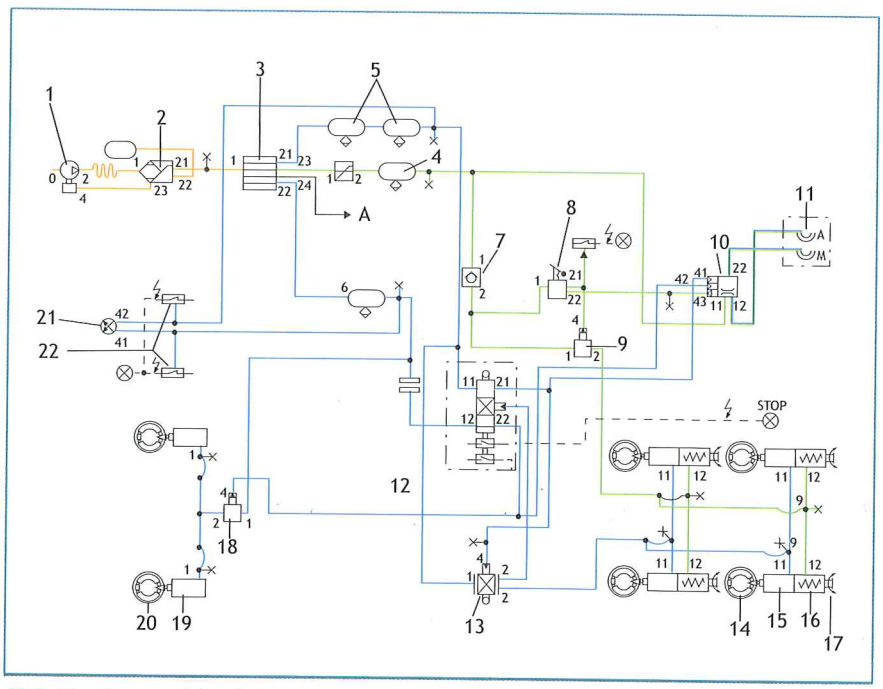
2 >> Sistema de frenos de accionamiento neumático

Este sistema de accionamiento se utiliza en vehículos industriales, camiones, maquinaria de obras públicas, ferrocarriles, etc., ya que todos ellos necesitan una gran fuerza de frenado y gran rapidez de actuación.

El sistema de accionamiento neumático de los frenos que se utiliza en los vehículos industriales se puede dividir a su vez en varios subcircuitos unidos entre sí para realizar el frenado de servicio, el frenado de estacionamiento y el frenado del remolque, si se trata de un vehículo tractor:

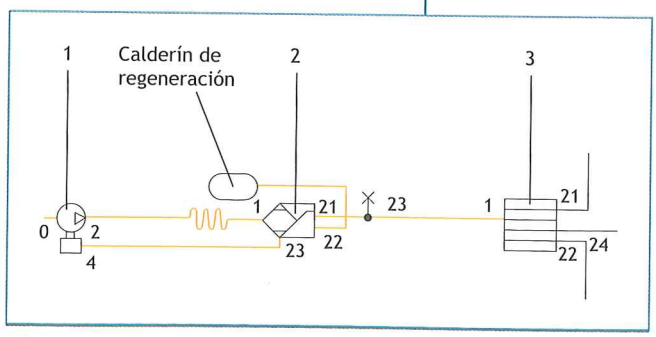
- Circuito de generación de aire comprimido (naranja).
- Circuito de freno de servicio (azul).
- Circuito de freno de estacionamiento (verde).
- Circuito de freno del remolque (A).

1. Compresor
2. Filtro desecador con válvula reguladora de presión
3. Válvula distribuidora de cuatro circuitos
4. Calderín del freno de estacionamiento
5. Calderín de los frenos traseros
6. Calderín de los frenos delanteros
7. Válvula antirretorno
8. Válvula de freno de estacionamiento
9. Válvula relé
10. Válvula de mando del remolque
11. Salidas de alimentación de aire del remolque
12. Valvula dúplex del pedal del freno
13. Válvula relé en función de la carga
14. Zapatas de los frenos traseros
15. Cilindro de freno de servicio del eje trasero
16. Cilindro de freno de estacionamiento
17. Dispositivo de compresión mecánica del muelle
18. Válvula relé
19. Cilindro de freno de servicio del eje delantero
20. Zapatas del eje delantero
21. Manómetro indicador de la presión de aire en los calderines
22. Luz indicadora baja presión de aire en el cuadro



13.3. Circuito neumático de freno.

2.1 > Circuito de generación de aire comprimido



13.4. Esquema del circuito de generación de aire comprimido.

Este subcircuito se encarga de comprimir el aire, limpiarlo de impurezas, deshumedecerlo y distribuirlo a los distintos circuitos que funcionan con aire comprimido dentro del vehículo: frenos, suspensión, etc.

Los elementos que lo componen son:

- Compresor (1).
- Depósitos de aire o calderín.
- Filtro desecador (2).
- Regulador de presión (2).
- Válvula de protección de cuatro circuitos (3).

Compresor

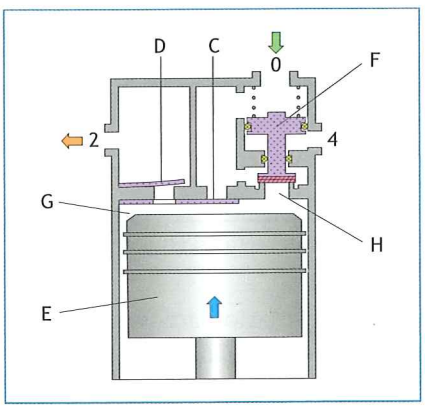
Este elemento se encarga de generar el aire comprimido que necesita el sistema. Suele estar formado por pistones (monocilíndricos o bicilíndricos) accionados por el motor de combustión del vehículo y, además, presenta refrigeración por agua de la culata para evitar deformaciones por sobrecalentamientos.

Dado que el compresor es accionado por el motor de combustión, se emplea un dispositivo para producir el trabajo del compresor en vacío cuando se alcanza la presión de trabajo en el circuito. Este dispositivo es una válvula que se queda abierta eliminando la fase de compresión del aire introducido en el cilindro.

En la figura 13.6 se ve cómo funciona la válvula (F) de trabajo en vacío del compresor: cuando la presión del circuito que la alimenta (conducto 4) vence la fuerza del muelle, el conducto (H) se comunica con el conducto de aspiración del compresor (0), provocando que el aire no se comprima en la carrera ascendente del pistón.

Cuando la presión del circuito baja a un determinado nivel, la válvula (F) se cierra, permitiendo de nuevo que se comprima el aire, que es enviado al circuito por el conducto 2 del compresor.

13.5. Compresor de aire de dos pistones.



13.6. Funcionamiento de la válvula de trabajo en vacío del compresor.

Depósito de aire o calderín

Estos depósitos se encargan de almacenar aire comprimido. El número y tamaño de los calderines depende del tamaño y del número de subcircuitos que componen el circuito de freno de los vehículos industriales. Suele existir un calderín para los frenos delanteros, otro para los traseros y otro para el freno de estacionamiento.

Estos depósitos disponen de una válvula de drenaje colocada en su parte inferior con la que se consigue expulsar el agua que pueda haberse condensado en su interior.

También es habitual que posean una válvula de acople rápida para poderles conectar un manómetro y saber la presión del aire almacenado en su interior.

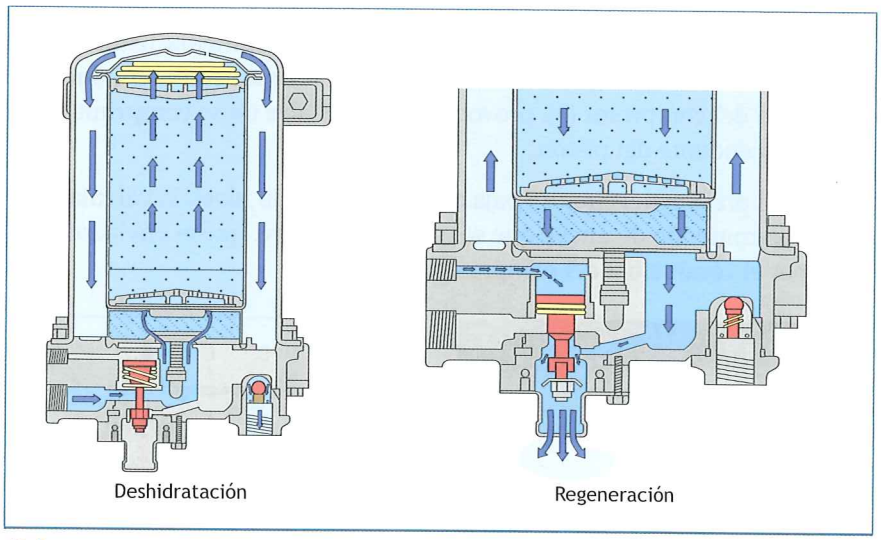
13.7. Calderines instalados en un camión.

Filtro desecador o deshidratador

El filtro desecador o deshidratador (figura 13.8) se encarga de limpiar y deshumedecer el aire enviado por el compresor a la instalación para evitar que los elementos sean dañados por impurezas o corrosión y que la presencia de agua genere congelaciones.

Para retener en el filtro el agua contenida en el aire se utilizan bolitas de sílice. Estas partículas solamente pueden retener una determinada cantidad de agua y por ello, para evitar la rápida saturación del filtro desecador, se deben regenerar periódicamente. Esto consiste en hacer pasar aire limpio y seco en el sentido inverso del flujo para que se lleve el agua contenida dentro del filtro y lo expulse al exterior (figura 13.9).

13.8. Filtro desecador.



13.9. Funcionamiento del filtro desecador.

El aire necesario para regenerar el filtro puede provenir de un calderín o directamente del circuito. Para que ese aire pase en dirección contraria, se tiene que desconectar el compresor del circuito.

Regulador de presión

El regulador de presión (figura 13.10) se encarga de limitar la presión suministrada por el compresor: cuando se alcanza la presión seleccionada, el regulador manda el aire a la atmósfera para evitar que la presión del circuito aumente.

Los sistemas actuales incorporan el regulador en el filtro desecador y, cuando la presión llega al nivel regulado, este hace funcionar en vacío al compresor para no generar más presión en el sistema.

Para hacer trabajar al compresor en vacío y así no generar más presión, el regulador pone en comunicación la presión del sistema con la válvula de corte del compresor.

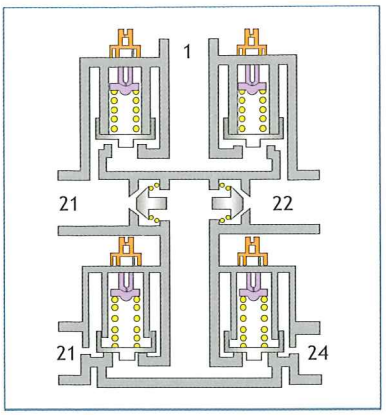
La presión necesaria en el sistema se selecciona en los reguladores de presión girando un tornillo, el cual comprime más o menos un muelle, haciendo que la presión estipulada suba o baje.

13.10. Regulador de presión.

Válvula de protección de cuatro circuitos

Esta válvula distribuidora se encarga de independizar los circuitos presentes en el sistema de frenos. Recibe aire a presión y lo distribuye a los depósitos (calderines) que alimentan los distintos circuitos: frenos delanteros, frenos traseros, freno de estacionamiento-remolque y otros servicios.

De este modo se consigue que los circuitos de freno puedan trabajar a distinta presión de aire y que las salidas de la válvula sean independientes para que, en caso de rotura de algún elemento en un circuito, no se escape toda la presión y el camión se quede sin frenos. Es decir, si se produjera una rotura en el circuito de frenos delanteros, los frenos traseros y el de estacionamiento seguirían funcionando, aunque con una presión de aire inferior.



13.11. Válvula de protección de cuatro cilindros.

2.2 > Circuito de freno de servicio

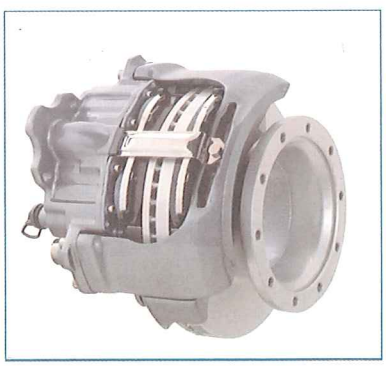
Este circuito está dividido en el circuito de frenos delanteros y el circuito de frenos traseros. Su función es dirigir el aire a presión a los frenos delanteros y traseros de forma independiente para que, en caso de rotura de una canalización en uno de los circuitos, el otro sea capaz de frenar por lo menos un eje del vehículo.

Los elementos de frenado a los que llega este circuito son los frenos de tambor y de disco de accionamiento neumático (figuras 13.12 y 13.13).

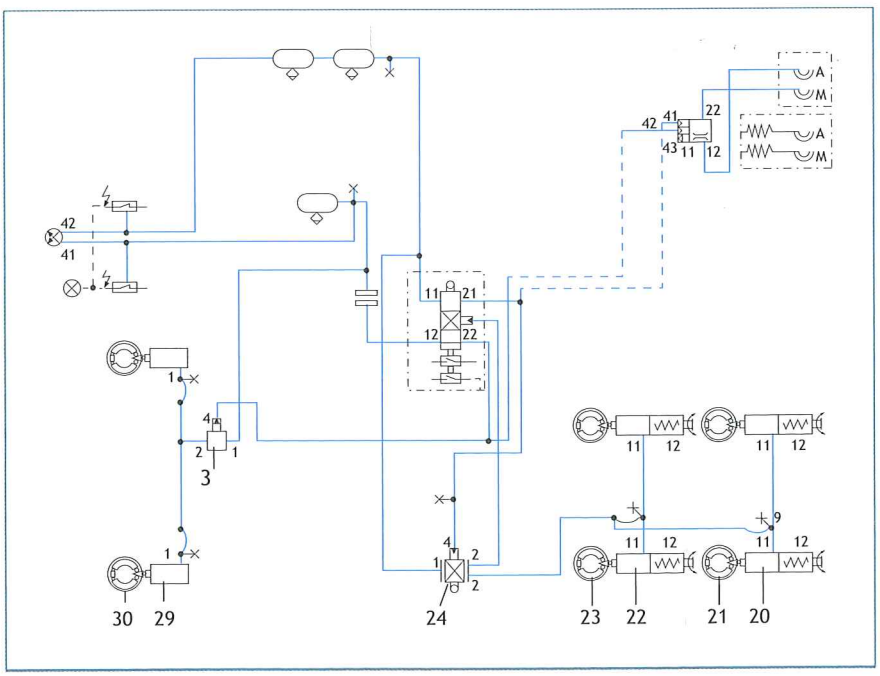
Los componentes del circuito de freno de servicio son los siguientes:

- Válvula del pedal del freno.
- Válvula relé.
- Válvula compensadora de la carga.
- Cilindro de accionamiento de los frenos.

13.12. Freno de tambor de accionamiento neumático.



13.13. Freno de disco de accionamiento neumático.



13.14. Circuito de freno de servicio.

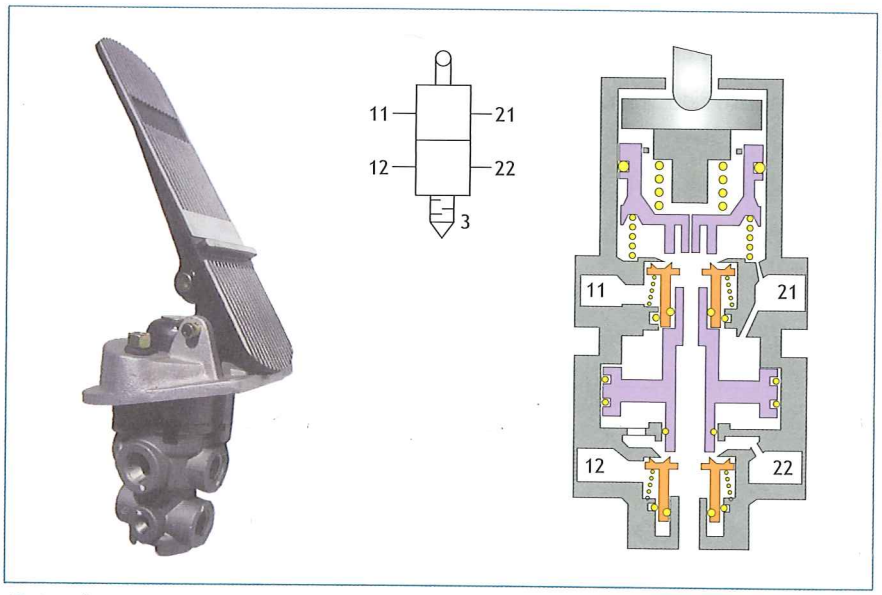
Válvula del pedal del freno (distribuidor dúplex)

Esta válvula se acciona cuando el conductor pisa el pedal del freno. Su función es distribuir el aire de los depósitos entre las válvulas de mando de los cilindros de accionamiento de los frenos.

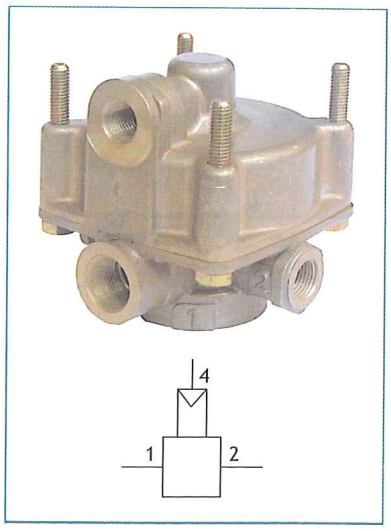
Realmente se trata de dos válvulas independientes coaxiales, accionadas por el mismo elemento, que permiten el paso de una cantidad determinada de aire a las válvulas. Esta cantidad se determina por la posición del pedal de accionamiento.

Dispone, principalmente, de dos alimentaciones de aire, provenientes del depósito del eje trasero (11) y del depósito del eje delantero (12), y de dos salidas, hacia la válvula de accionamiento de los frenos del eje trasero (21) y hacia la de los frenos del eje delantero (22).

Dependiendo del tipo de camión donde vaya instalada, existen variaciones de esta válvula. Algunos modelos, por ejemplo, proporcionan una alimentación mayor de aire en el eje delantero cuando la presión de frenado aumenta en el eje trasero.



13.15. Válvula del pedal del freno.



13.16. Válvula relé.

Válvula relé

Esta válvula (figura 13.16) es accionada neumáticamente por la válvula distribuidora y su función consiste en permitir que el aire comprimido pase desde el depósito correspondiente a los cilindros de accionamiento de los frenos de cada eje.

Cuando se acciona el pedal del freno, el aire a presión alimenta el conducto (4) de la válvula, produciendo su apertura y consiguiendo que el aire a presión del depósito pase del conducto (1) al conducto (2), el cual se encarga de alimentar los cilindros de freno.

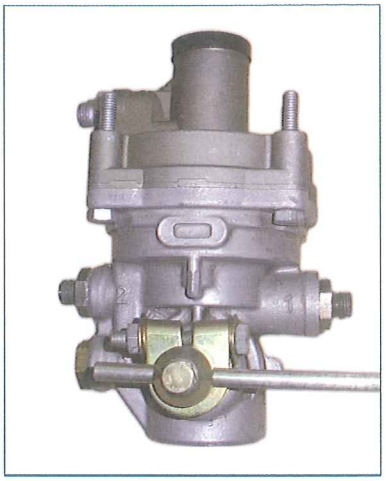
Con esta válvula se consigue reducir los tiempos de reacción de cada uno de los ejes en la fase de frenado.

Válvula compensadora de la carga

Esta válvula realiza una función similar a la válvula relé, ya que alimenta los cilindros de accionamiento de los frenos de servicio del eje o los ejes traseros cuando se pisa el pedal del freno. Aunque pueden ser de varios tipos, siempre se encargan de alimentar de aire el freno trasero según la carga que tenga el camión y son accionadas mecánica o neumáticamente por los elementos de la suspensión.

Cuando la suspensión presenta menor altura es debido a que el vehículo posee mayor carga que en vacío. Esta variación de altura desplaza unas varillas que provocan que pase más aire a los cilindros de accionamiento de los frenos traseros.

Si el vehículo va equipado con suspensión neumática, la presión en el interior de los muelles neumáticos aumenta con el nivel de carga del vehículo. Esta presión interior determina la actuación de la válvula: a mayor presión de accionamiento, mayor paso de aire permite la válvula compensadora de la carga.



13.17. Válvula compensadora de la carga.

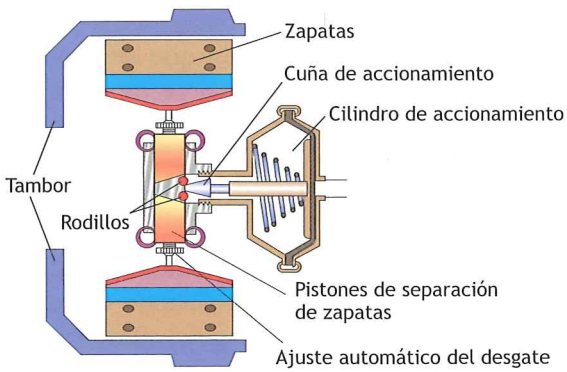
Cilindro de accionamiento de los frenos

El desplazamiento de las pastillas o de las zapatas necesario para producir el frenado se realiza mediante cilindros neumáticos. Estos cilindros son de simple efecto, es decir que, cuando son alimentados con aire, el vástago sale y, cuando cesa este suministro a la cámara de presión, el muelle presente en la otra cámara y la fuerza de los muelles de las zapatas producen que el vástago retroceda.

Puesto que los frenos de zapatas son de tipo dúplex o duoservo, para producir su apertura son necesarios dos cilindros.

ABS

En los vehículos con sistema ABS, la válvula compensadora de la carga es de tipo relé normal.



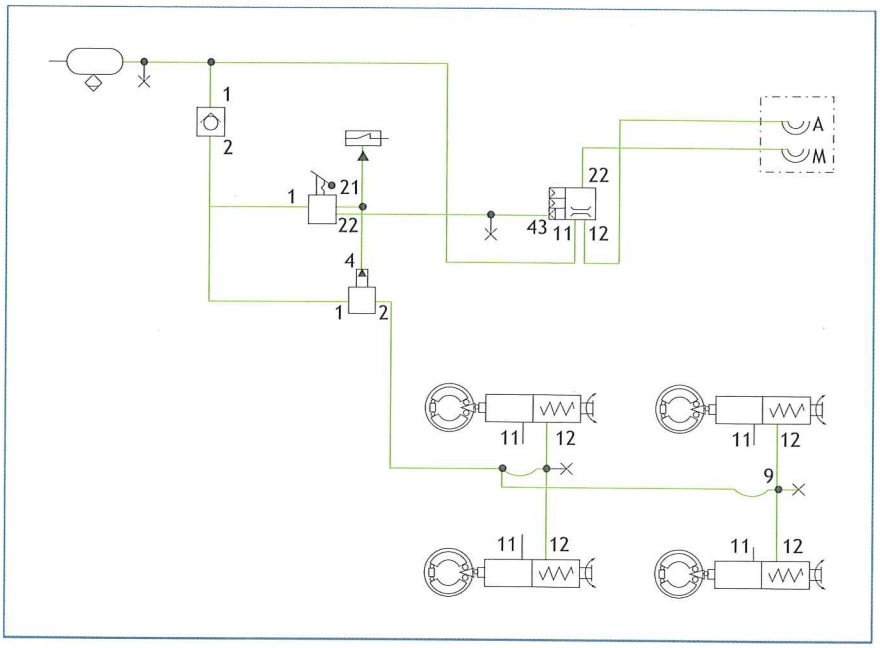
13.18. Cilindros de accionamiento de los frenos.

Los cilindros de accionamiento presentes en los frenos de los ejes dotados de freno de estacionamiento son de **tipo combinado.** Están formados por dos cilindros neumáticos en serie colocados en una unidad que desplaza el vástago de accionamiento de los elementos del freno.

2.3 > Circuito de freno de estacionamiento

El subcircuito de freno de estacionamiento está formado por:

- Depósito de almacenamiento (calderín).
- Valvula de freno de estacionamiento.
- Válvula relé.
- Válvula antirretorno.
- Cilindro de freno combinado.



13.19. Circuito de freno de estacionamiento.

13.20. Palanca de accionamiento del freno de estacionamiento.

Depósito de almacenamiento

Este depósito almacena el aire a una presión menor que los depósitos de los frenos de servicio debido a que este circuito no necesita tanta presión de accionamiento. Suele alimentar también los frenos del semirremolque, si el camión lo lleva.

Válvula de freno de estacionamiento

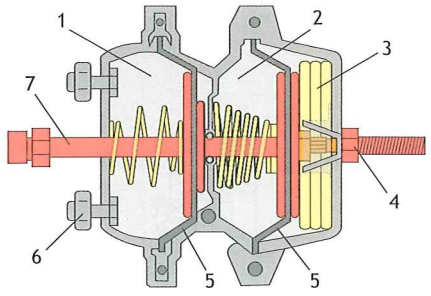
Esta válvula acciona (pilota) la válvula relé que alimenta los cilindros de accionamiento de los frenos de estacionamiento. Cuando se acciona el freno de estacionamiento se vacía de aire la cámara del cilindro. Esta válvula también puede alimentar de aire a la válvula de control del remolque, si el vehículo lo lleva.

Válvula antirretorno

La válvula antirretorno actúa como elemento de seguridad. Si el calderín se queda sin aire cuando el vehículo está en movimiento (por rotura de algún elemento), el aire presente en la cámara del cilindro de freno se escaparía, descomprimiéndose el muelle del cilindro de freno y frenando de golpe al vehículo. Para evitar este problema la válvula antirretorno impide que el aire se escape y así evita el bloqueo de los frenos.

Cilindro de freno combinado

El cilindro de freno combinado consta de dos cilindros de freno colocados en tándem que desplazan el vástago accionador de las zapatas o pastillas de los frenos. Un cilindro es el del freno de servicio y el otro es el del freno de estacionamiento.



1 Cilindro de freno de servicio
2 Cilindro de freno de estacionamiento
3 Muelle del freno de estacionamiento
4 Mecanismo manual de compresión del muelle de estacionamiento
5 Membrana
6 Fijación del cilindro al disco o tambor
7 Vástago accionador

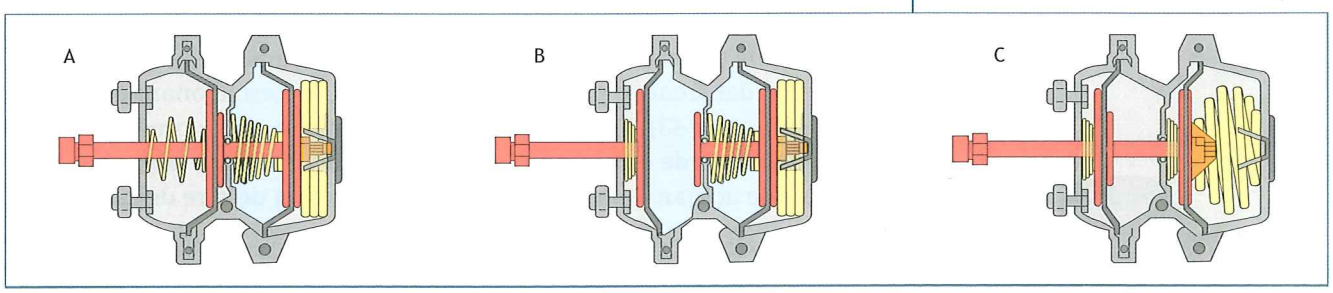
13.21. Cilindro de freno combinado.

El cilindro de freno de estacionamiento es un cilindro de simple efecto que tiene en la cámara de trabajo (la que produce el desplazamiento del vástago) un muelle de grandes dimensiones. Este muelle produce el desplazamiento de la membrana y, por tanto, del vástago desplazable.

Su funcionamiento consta de tres fases (figura 13.23):

- Cuando no se acciona ningún freno, el cilindro de freno de estacionamiento va lleno de aire para comprimir el muelle (A).
- Si en esta situación se pisa el pedal del freno, se alimenta la cámara del cilindro de freno de servicio produciéndose el desplazamiento del vástago y la aplicación de las pastillas o zapatas (B).
- Cuando se para el vehículo y se desplaza la válvula de freno de estacionamiento, la acción que tiene lugar es el vaciado de aire de la cámara del freno de estacionamiento, extendiéndose el muelle produciendo el desplazamiento del vástago accionador de los frenos (C).

13.22. Cilindro de feno combinado.

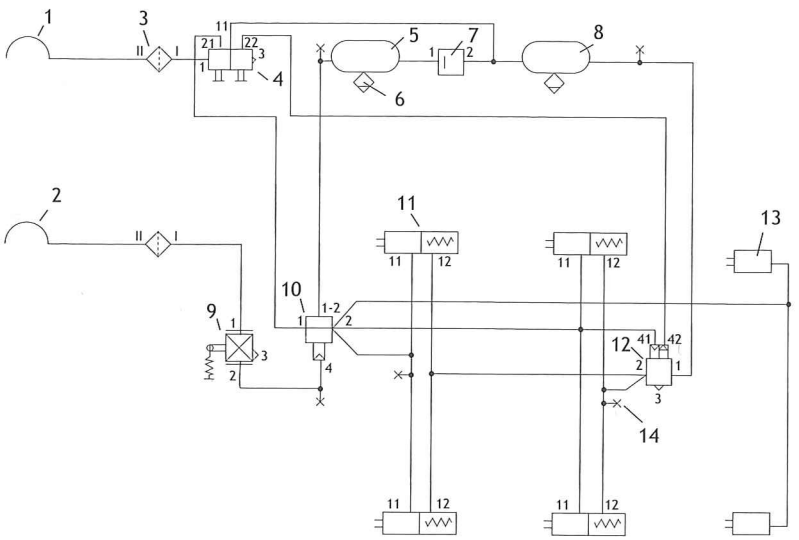


13.23. Fases de funcionamiento del freno combinado.

Gracias a esta disposición, si el vehículo se queda sin aire comprimido, se produce un frenado de emergencia debido a la fuerza del muelle. Para desfrenar el vehículo en estos casos, los cilindros de freno combinado disponen de un mecanismo de tornillo-tuerca que, cuando se gira, consigue que la membrana comprima el muelle mecánicamente.

2.4 > Circuito de freno del remolque

1. Cabezal de acoplamiento del sistema
2. Cabezal de acoplamiento del freno
3. Filtro de línea hidráulica
4. Válvula de soltado combinada
5. Acumulador de energía
6. Válvula de purga de agua
7. Válvula de rebose sin retorno
8. Acumulador de energía
9. Regulador de fuerza de frenado
10. Válvula de freno del remolque
11. Cilindro combinado
12. Válvula protectora de sobrecarga
13. Cilindro de freno
14. Conexión de comprobación



13.24. Circuito de freno del remolque.

Los camiones articulados constan de una cabeza tractora y un remolque o semirremolque tirado por ella. Estos remolques también disponen de un sistema de frenos neumático gobernado por una válvula de mando presente en el semirremolque. La válvula del remolque se encarga de distribuir el aire comprimido presente en los calderines del remolque a los cilindros de freno de servicio y al freno de estacionamiento. Esta válvula de mando aparece con el nombre de válvula de soltado combinada en la figura.

Esta válvula es gobernada por la válvula de control del remolque presente en el vehículo tractor.

Válvula de control del remolque

Esta válvula (figura 13.25) está pilotada neumáticamente por las válvulas del pedal del freno y por la válvula de freno de estacionamiento (conductos 41, 42 y 43). También está alimentada con aire a presión del calderín del freno de estacionamiento (conexión 1). De ella salen dos conexiones que actúan de mangueras de alimentación de aire del remolque:

- La conexión 12 de la válvula se conecta a la manguera roja y es la encargada de alimentar de aire al remolque.
- La conexión 22 se conecta a la manguera amarilla y es por donde sale el aire de mando de los frenos del remolque. Cuando se acciona el pedal del freno o el freno de estacionamiento, la manguera amarilla conduce aire a presión hasta la válvula de mando del remolque para que se activen los frenos. Esta válvula está alimentada por los dos circuitos de freno de servicio para que, en caso de que falle uno de ellos, el remolque se pueda seguir frenando.

13.25. Válvula de control del remolque.

3 >> Deceleradores o *retarders*

Los vehículos industriales, además de los frenos de servicio, disponen de otros frenos llamados **deceleradores** o ***retarders.*** Estos frenos no detienen totalmente el vehículo, pero logran ralentizar su velocidad sin accionar los frenos de las ruedas. Por lo tanto, con ellos se consigue reducir el uso de los frenos, evitando su sobrecalentamiento, aumentando su duración y evitando la aparición del *fading*.

Los deceleradores o *retarders* se pueden utilizar durante más tiempo que los frenos de servicio, pues no actúan frenando las ruedas sino oponiéndose al giro de los elementos de la transmisión. Por esto también se denominan frenos de servicio continuo.

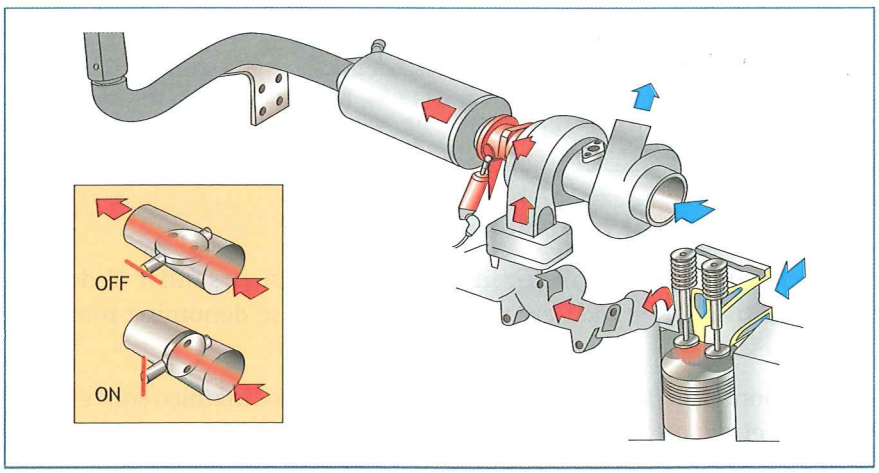
Principalmente se distinguen tres tipos de deceleradores: freno motor, ralentizador hidrodinámico y ralentizador electromagnético.

3.1 > Freno motor

Este sistema trabaja frenando el giro del motor, por lo tanto ralentiza el giro de toda la cadena cinemática. Atendiendo a sus dispositivos fundamentales, se distinguen dos tipos de frenos motores: por mariposa en el conducto de escape y por válvula de descompresión.

Freno motor por mariposa en el conducto de escape

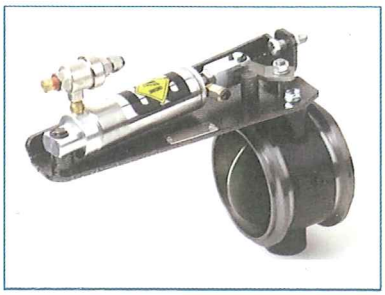
Este freno motor utiliza una mariposa a la salida del conducto de escape. Cuando esta se acciona, se cierra, bloqueando la salida de los gases de escape del motor y produciendo una resistencia al movimiento del pistón, lo que ralentiza el giro del cigüeñal. De este modo se consigue disminuir la velocidad del vehículo.



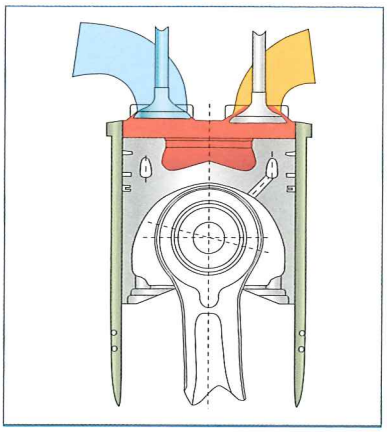
13.26. Funcionamiento del freno motor por mariposa en el conducto de escape.

El principal inconveniente de este sistema es que origina un sobrecalentamiento de los cilindros y de los conductos de escape, haciendo que aumente su degradación por corrosión.

Normalmente este tipo de freno motor se combina con algún otro ralentizador, ya que no tiene una gran capacidad de frenado.



13.27. Freno motor por mariposa en el conducto de escape.



13.28. Apertura de las válvulas de compresión al final de la fase de compresión.

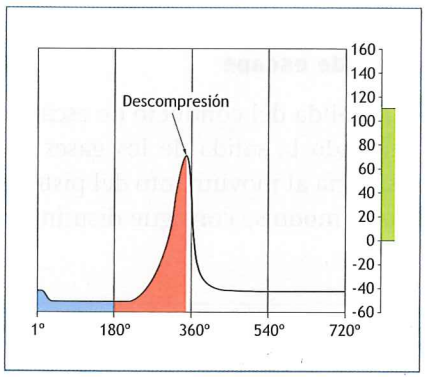
Freno motor por válvula de descompresión

Este sistema de freno motor provoca que el motor funcione como un compresor, lo que le absorbe energía y, por tanto, lo ralentiza.

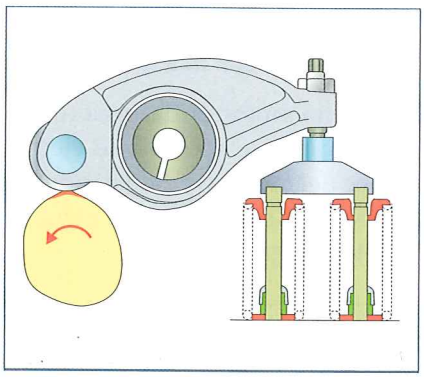
El funcionamiento de este freno motor consta de las siguientes fases:

1. La válvula de admisión se abre y el aire llega al cilindro. Si el motor dispone de turbo, el aire entra a presión y se aumenta el efecto de frenado.
2. El aire es comprimido por el pistón en su carrera ascendente hasta unos 30 bar de presión. Para ello se utiliza la energía aportada por el cigüeñal del motor que, en este momento, está accionado por las ruedas.
3. Al final de la carrera ascendente del pistón (tiempo de compresión del ciclo del motor) las válvulas de escape se abren accionadas por el mecanismo del freno motor, liberándose la presión contenida en el cilindro, para que el pistón, al realizar la siguiente carrera descendente, no sea empujado por este aire comprimido dentro del cilindro. Así se consigue frenar el giro del motor y decelerar el vehículo.

Para lograr que las válvulas de escape se abran al final del tiempo de compresión, se emplean émbolos hidráulicos accionados con el aceite del circuito de lubricación gobernado por la electroválvula de comando del freno motor.



13.29. Momento y cantidad de frenado obtenida al accionar el freno motor por válvula de descompresión.



13.30. Protuberancia de la leva que produce la apertura de las válvulas de escape al accionarse el freno motor.

3.2 > Ralentizador hidrodinámico

El funcionamiento del ralentizador hidrodinámico es similar al del embrague hidráulico, si bien en este caso la bomba se denomina rotor y la turbina, estator.

Los componentes principales del ralentizador hidrodinámico son: el rotor (bomba), el estator, la carcasa, el intercambiador de calor y el circuito hidráulico de control con válvulas y electroválvulas.

La bomba es accionada por el eje de transmisión directamente o por medio de un engranaje multiplicador y el estator está enfrentado a ella con una pequeña separación y montado de forma solidaria a la carcasa del ralentizador.

El interior de la carcasa, donde van colocados la bomba y el estator, se puede llenar con una cierta cantidad de aceite, de lo que se encargan unas válvulas y electroválvulas gestionadas por el mando del ralentizador.

Cuando la carcasa se llena con una determinada cantidad de fluido, la bomba lo recibe por su centro y lo proyecta hacia su periferia contra el estator, el cual, al estar quieto, lo repele produciendo así el frenado del rotor.

El efecto de frenado depende de la velocidad de giro de la transmisión y de la cantidad de aceite contenida en la carcasa.

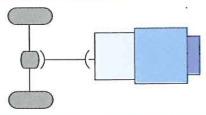
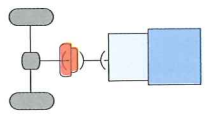
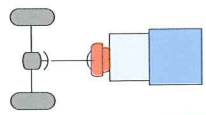
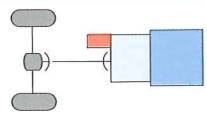
Este proceso de frenado produce el calentamiento del fluido y, de este modo, la energía cinética se transforma en calor. Este calor es disipado en el radiador del ralentizador, que está unido al sistema de refrigeración del motor.

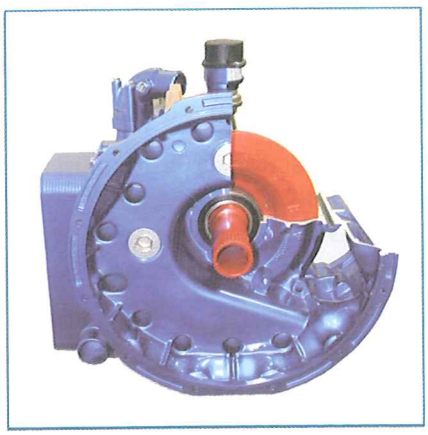
Una de las grandes ventajas de este tipo de ralentizador es que con él no se producen desgastes, ya que ninguna de sus piezas mecánicas están en contacto directo.

Los ralentizadores hidrodinámicos pueden clasificarse, dependiendo de su colocación en la cadena cinemática del vehículo, en:

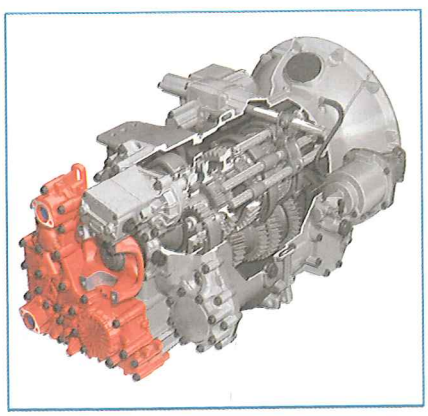
- **Ralentizadores primarios** (figura 13.31): su bomba es accionada directamente por el cigüeñal y el fluido de trabajo que utiliza es el agua del sistema de refrigeración del motor. Va situado en la parte anterior del motor.
- **Ralentizadores secundarios:** van colocados en la transmisión entre la caja de cambios y el grupo de reducción final-diferencial. Dependiendo de su construcción y de su lugar de montaje, se distinguen los siguientes tipos:
  - **En línea con la transmisión** (figura 13.32): pueden ir colocados a la salida del cambio de velocidades o en una zona del árbol de transmisión. Se caracterizan por que la bomba es solidaria al árbol de transmisión que atraviesa la carcasa del ralentizador.
  - **Fuera de la línea de transmisión** (figura 13.33): en este caso la bomba está unida a un eje accionado por un piñón multiplicador que engrana con otro solidario al eje de transmisión. Se denomina fuera de la línea porque el árbol de transmisión de movimiento no entra dentro de la carcasa del ralentizador. La pareja de engranajes de accionamiento permite multiplicar la velocidad de la bomba y así consigue un mayor efecto de frenado a bajas velocidades del vehículo.

Tipos de ralentizadores hidrodinámicos

Tipo	Posición en la transmisión
Primario	
Secundario en línea	 
Secundario fuera de línea	



13.31. Ralentizador hidrodinámico primario.



13.32. Ralentizador hidrodinámico secundario en línea.

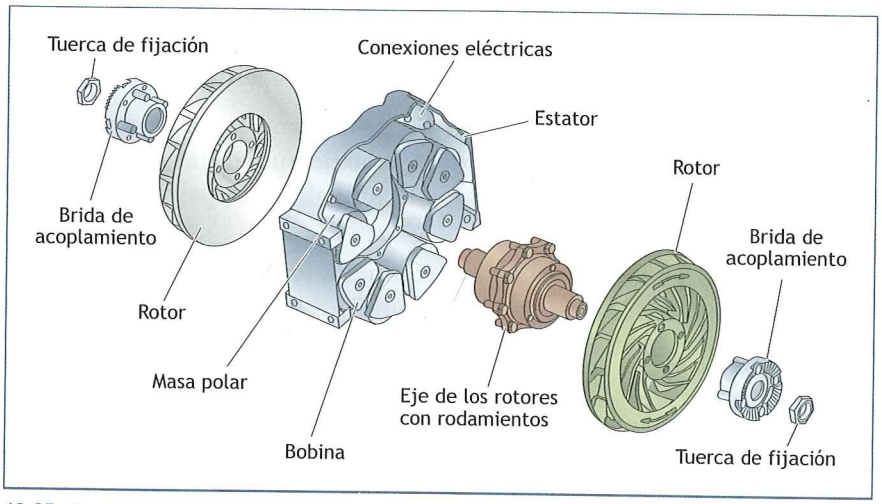
13.33. Ralentizador hidrodinámico secundario fuera de línea.

13.34. Ralentizador eléctrico instalado en un camión.

3.3 > Ralentizador eléctrico o electromagnético

Los ralentizadores eléctricos o electromagnéticos funcionan aplicando corriente eléctrica a unas bobinas colocadas en un estator. Estas, al recibir corriente, generan campos magnéticos que producen el efecto de frenado en los rotores del eje. Sus componentes son (figura 13.35):

- **Estator:** donde van colocadas las bobinas eléctricas (generalmente ocho), que trabajan con una tensión de alimentación de 12 ó 24 voltios. Este elemento va fijado de forma elástica a la carrocería del vehículo.
- **Eje del ralentizador:** está intercalado en el árbol de transmisión del vehículo y soportado por unos rodamientos.
- **Dos rotores:** situados cada uno en un extremo del eje.



13.35. Componentes del ralentizador electromagnético.

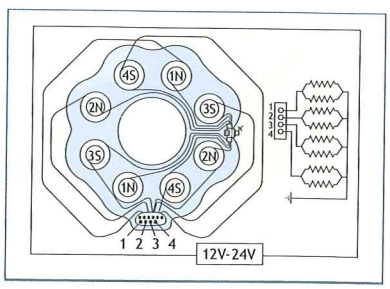
El eje ralentizador gira dentro del estator, de forma concéntrica a él, dejando un pequeño entrehierro o separación entre los rotores y los extremos del estator.

Cuando las bobinas reciben corriente eléctrica, se crean en ellas campos magnéticos que se comportan como imanes. Cuando los rotores atraviesan estos campos magnéticos, dentro de ellos se genera una corriente inducida circular, llamada corriente inducida de Foucault, que crea campos magnéticos que se oponen a los campos magnéticos producidos en las bobinas eléctricas. De este modo se origina el efecto de frenado, transformándose la energía cinética en calor que es evacuado al exterior con el giro del rotor.

Las bobinas son alimentadas por parejas y se instalan de forma que produzcan campos magnéticos alternos (figura 13.36). Con este montaje, si se dispone de ocho bobinas en el estator, se consiguen cuatro niveles de frenado al ir alimentando progresivamente más parejas de bobinas.

Este sistema dispone de una protección eléctrica para que, en caso de sobrecalentamiento, se desconecte la alimentación eléctrica y se evite así la fusión de las bobinas o incendios.

El ralentizador eléctrico se puede activar con una palanca o mediante un pedal. Su posición se indica en un *display* en el cuadro de instrumentos.



13.36. Disposición de las parejas de bobinas de un estator de ocho bobinas para cada nivel de frenado.

4 >> Sistemas de frenos utilizados en tractores

En los sistemas de accionamiento de los tractores se distinguen dos tipos de circuitos de freno: uno hidráulico para el accionamiento de los frenos del tractor y otro neumático para el accionamiento de los frenos del remolque.

4.1 > Freno de servicio

Los frenos de servicio del tractor son discos bañados en aceite con accionamiento hidráulico. Este accionamiento consta de dos bombas, una para cada una de las ruedas traseras, con su pedal independiente correspondiente. Cuando se trabaja en el campo se puede accionar el freno en una sola rueda para producir el giro del tractor; al circular por carretera los dos pedales se unen para que al pisar el freno las dos ruedas frenen al mismo tiempo.

Si el tractor dispone de frenos en el eje delantero, sus dos frenos se accionan simultáneamente cuando se pisa el pedal del freno. Como elementos de freno en este eje se utilizan paquetes multidisco en seco o bañados en aceite.

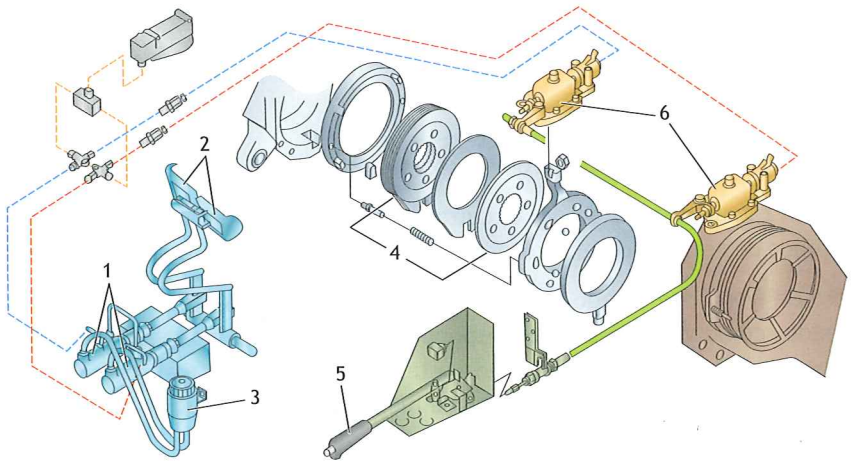
Siglas

SAE: *Society of Automotive Engineering* (Sociedad de Ingeniería Automovilística).

FMVSS: *Federal Motor Vehicle Safety Standard* (Norma de seguridad americana para vehículos motorizados).

ISO: *International Standard Organization* (Organización Internacional de Estándares).

DOT: *Department of Transportation* (Ministerio de Transporte).



1. Bombas
2. Pedales
3. Depósito del líquido de frenos
4. Paquete de discos bañados en aceite con émbolo de apriete
5. Palanca del freno de estacionamiento
6. Válvulas de accionamiento de freno de estacionamiento

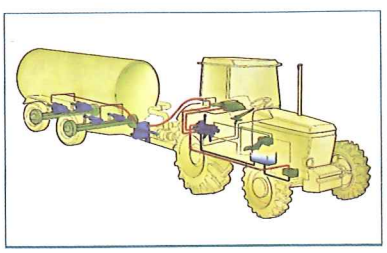
13.37. Circuito de freno de un tractor con remolque

4.2 > Freno de estacionamiento

En los tractores pueden aparecer, básicamente, dos sistemas de frenos de estacionamiento:

- El formado por dos válvulas hidráulicas accionadas mecánicamente por la palanca del freno de estacionamiento (figura 13.36). Cuando se desplaza la palanca se produce un envío de líquido de frenos a presión desde las válvulas a los pistones de los frenos multidisco.
- El formado por unas zapatas que bloquean el giro de unos discos solidarios en su giro al piñón del grupo de reducción final. Al accionarse la palanca del freno, estas zapatas comprimen el paquete de discos, bloqueando el giro del piñón.

Este circuito se completa con válvulas accionadas por el líquido de frenos que comandan el accionamiento neumático de los cilindros de freno utilizados en el remolque.

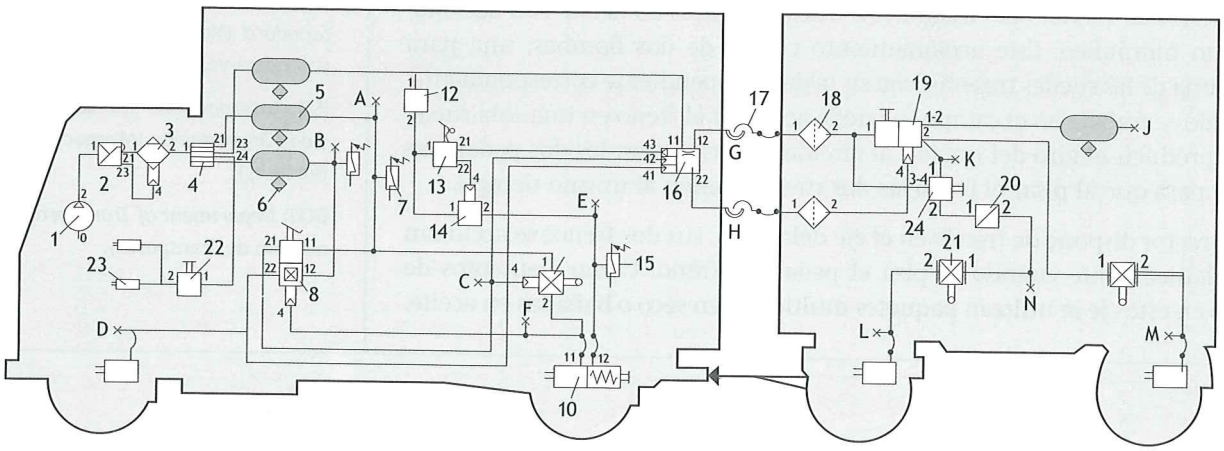


13.38. Circuito de frenos de un tractor con remolque.

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

Dada la siguiente figura, contesta a las cuestiones:



1·· Indica el nombre de los elementos que componen el sistema de frenos de servicio del camión de la figura.

2·· Los puntos A, B, C, D, E, F, J, K y L son tomas de presión del circuito. Indica en cuál de ellas debemos colocar el manómetro para comprobar que los frenos de servicio delanteros y traseros están alimentados con aire a presión.

3·· El elemento número 10 es el cilindro de freno combinado, de servicio y de estacionamiento, de las ruedas traseras del vehículo. Este cilindro combinado, como ya hemos visto, dispone de dos cámaras independientes en tándem alimentadas cada una de ellas por los conductos 11 y 12. ¿En cuál de estas dos conexiones de alimentación habrá presión de aire cuando el camión no tiene accionado el freno de estacionamiento y no se pisa el pedal del freno de servicio?

4·· Indica cuáles de los tres depósitos de aire de la figura, el superior, el medio o el inferior, pertenecen a los sistemas de frenos de servicio (delanteros y traseros) y de estacionamiento.

5·· El elemento número 15 es un presostato (interruptor accionado por presión). Este interruptor de presión se cierra cuando no hay presión en el conducto donde va colocado. ¿Qué indica que este interruptor se cierre y se encienda una luz de aviso en el cuadro de instrumentos?

6·· El elemento número 23 es el cilindro de accionamiento del freno motor por mariposa en el conducto de escape. Explica la función de este freno motor.

Caso final

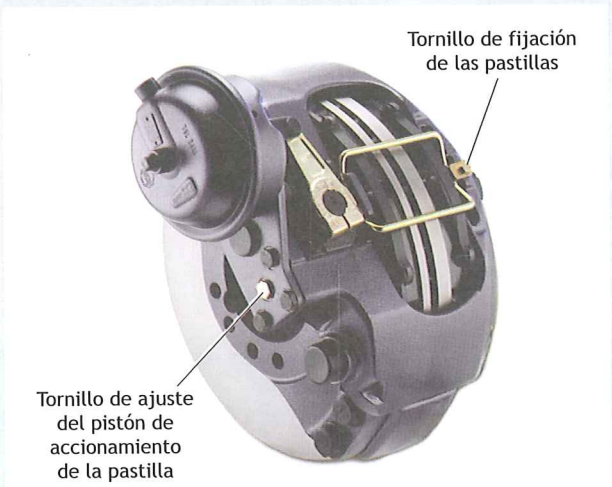
Sustitución de las pastillas de freno en un vehículo industrial

•• Tenemos en el taller un camión de gran tonelaje cuyas pastillas de los frenos delanteros han de ser sustituidas. Realiza esta sustitución.

Solución •• Es importante tener en cuenta que los frenos de disco de los vehículos industriales suelen ser de pinza flotante.

Para sustituir las pastillas de freno, debemos realizar los siguientes pasos:

1. Desconectamos la conexión eléctrica de indicación del desgaste de las pastillas.
2. Desatornillamos el tornillo de sujeción del muelle de fijación de las pastillas en la pinza de freno (figura 13.39).
3. Giramos el tornillo de ajuste automático de salida del pistón de accionamiento de la pastilla (figura 13.39) para que vuelva a su posición inicial de montaje. Con esto se consigue separar la pastilla interior del pistón mecánico de accionamiento.
4. Desplazamos la pinza flotante hacia el exterior y quitamos la pastilla externa.
5. Para quitar la pastilla interna del freno se debe desplazar la pinza flotante hacia el interior del buje.

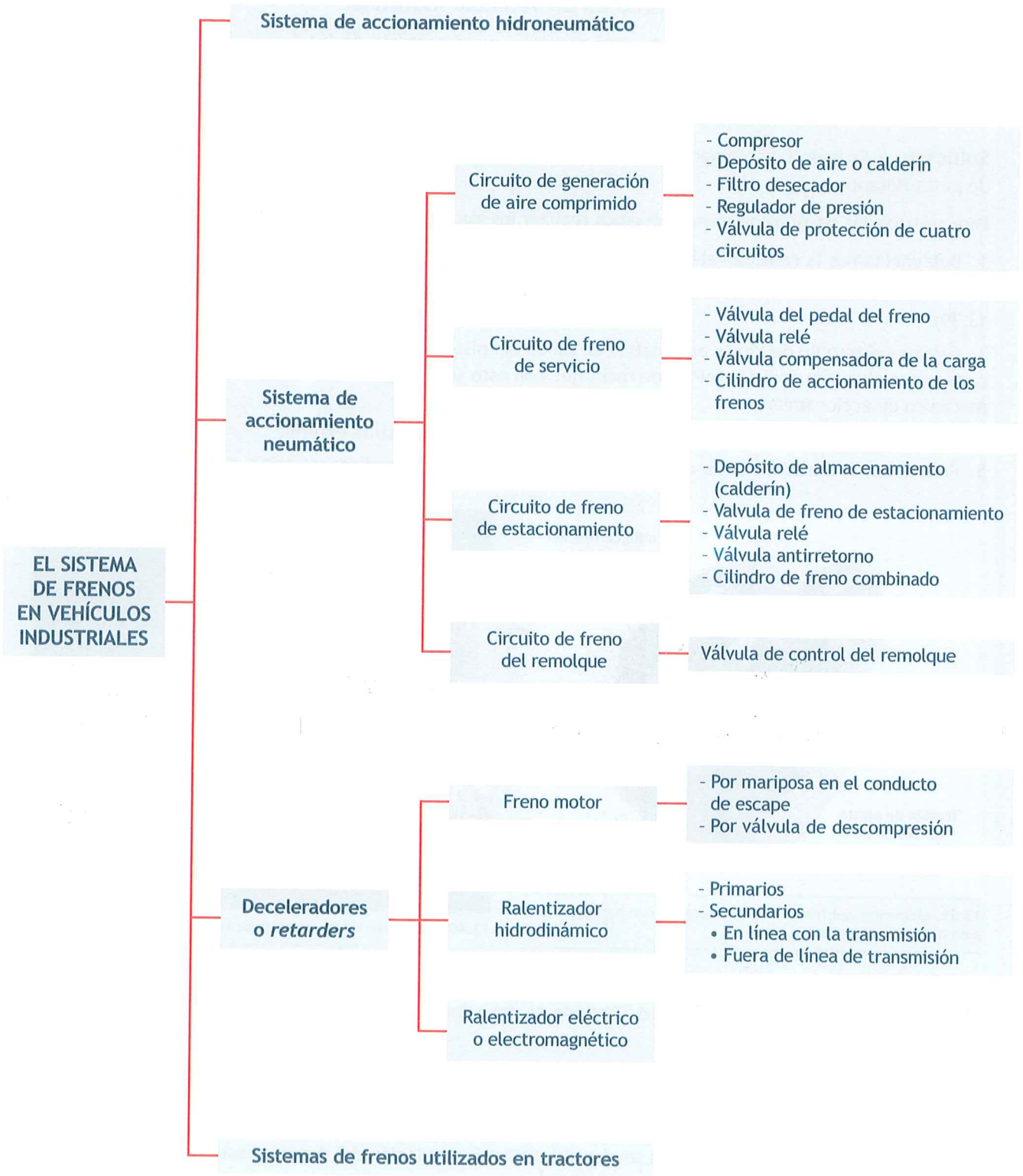


13.39. Elementos del freno de disco sobre los que hay que actuar para desmontar las pinzas.

13.40. Extracción de las pastillas de freno.

6. Una vez desmontadas las pastillas, comprobamos que las guías de deslizamiento de la pinza flotante no presentan oxidación o agarrotamientos. También se debe comprobar el dispositivo de ajuste automático del desgaste de las pastillas.
7. Una vez comprobado que los elementos de la pinza flotante están en buen estado, procedemos a instalar las pastillas nuevas. Desplazamos el marco flotante de la pinza hacia el interior para colocar la pastilla interna. Después lo desplazamos hacia el exterior para colocar la pastilla externa.
8. Una vez colocadas las dos pastillas se gira el tornillo de regulación del desgate hasta que la pastilla tenga un juego de 1 mm con su alojamiento.

Ideas clave


EL SISTEMA DE FRENOS EN VEHÍCULOS INDUSTRIALES
Sistema de accionamiento hidroneumático
Sistema de accionamiento neumático
Circuito de generación de aire comprimido
- Compresor
- Depósito de aire o calderín
- Filtro desecador
- Regulador de presión
- Válvula de protección de cuatro circuitos
Circuito de freno de servicio
- Válvula del pedal del freno
- Válvula relé
- Válvula compensadora de la carga
- Cilindro de accionamiento de los frenos
Circuito de freno de estacionamiento
- Depósito de almacenamiento (calderín)
- Valvula de freno de estacionamiento
- Válvula relé
- Válvula antirretorno
- Cilindro de freno combinado
Circuito de freno del remolque
Válvula de control del remolque
Deceleradores o retarders
Freno motor
- Por mariposa en el conducto de escape
- Por válvula de descompresión
Ralentizador hidrodinámico
- Primarios
- Secundarios
• En línea con la transmisión
• Fuera de línea de transmisión
Ralentizador eléctrico o electromagnético
Sistemas de frenos utilizados en tractores

APU compacta de Wabco

El filtrado del aire desecado y la regulación de la presión de alimentación se realiza en unos elementos conocidos como APU (air processing unit) o unidades de procesamiento del aire. Wabco, constructor de equipos de frenado y suspensión para vehículos industriales, ha desarrollado un nuevo tipo de APU, la unidad APU compacta, que reúne todas las necesidades que el mercado demanda en un único cuerpo. La APU compacta de Wabco ofrece además una gran funcionalidad y una alta calidad con un coste óptimo para los clientes.

Esta nueva unidad de procesamiento de aire puede ser usada en camiones de diseño estándar y en los autobuses que requieren hasta dos niveles de presión de alimentación de aire.

Debido a su diseño modular, APU compacta puede ser adaptada por los constructores a las necesidades específicas de sus vehículos y, posteriormente, permite que una unidad se emplee en todas las variantes de la serie de fabricación del vehículo industrial que aparezcan.

Asimismo, la integración del secador de aire y de la válvula de protección de cuatro circuitos en el cuerpo compacto de la unidad APU simplifica las conducciones de aire, reduciendo costes de ensamblaje y aumentando la fiabilidad del sistema completo de procesamiento de aire.

La nueva unidad dispone además de un sistema innovador de prefiltrado del aceite a contracorriente, diseño exclusivo de Wabco. Este sistema utiliza la fuerza centrífuga para filtrar mayor cantidad de aceite y agua cuando se produce la regeneración del cartucho filtrante.

Estos son todos los elementos que posee la unidad compacta APU:

- Secador de aire estándar con sistema de regeneración.
- Válvula de protección de cuatro circuitos integrada.
- Prefiltro de aceite.
- Dos sensores de presión incorporados
- Dos niveles de presión de salida del conjunto.
- Dispositivo de calefacción en el conducto de descarga del aire de regeneración.
- Toma de aire para el inflado de los neumáticos.

Fuente: www.wabco.com

unidad 14

Sistema electrónico de frenado y estabilidad (ABS/ESP)

SUMARIO

- Sistema antibloqueo de frenos (ABS)
- Programa electrónico de estabilidad (ESP)
- Funciones del sistema ABS/ESP: EBV, ASR, MSR, BAS, AAS, limpieza y TSA
- Mantenimiento del sistema ABS/ESP

OBJETIVOS

- Conocer a fondo el sistema electrónico de frenado y estabilidad (ABS/ESP).
- Saber las funciones que posee el sistema ABS/ESP.
- Realizar el mantenimiento del sistema ABS/ESP.

1 >> Sistema antibloqueo de frenos (ABS)

El sistema antibloqueo de frenos (ABS, sigla que proviene de la denominación alemana *Anti-Blockier System*) evita, controlando la presión del fluido que llega a los actuadores de los frenos, que las ruedas que alcanzan el límite de adherencia durante un frenado del vehículo lleguen a bloquearse.

Si la fuerza de frenado aplicada a una o varias ruedas de un vehículo es excesiva respecto a la condición que presenta el contacto entre el neumático y el pavimento (mojado, de arena, con hielo, etc.) o respecto al desplazamiento del mismo (necesidad de frenado en curva, traslado de masas por la fuerza de la frenada, etc.), se producirá una pérdida de adherencia en las ruedas que podría llegar a bloquearlas o a provocar su deslizamiento.

El bloqueo de las ruedas tiene importantes consecuencias:

- Aumenta considerablemente la distancia de frenado.
- Si se produce en el tren delantero, se pierde la direccionalidad del vehículo y la maniobrabilidad en la trayectoria.
- Si se produce en el tren trasero, el vehículo derrapa y gira sobre sí mismo (trompo).

Por estos motivos es muy conveniente evitar el bloqueo de las ruedas y, para ello, se ha mejorado el circuito de frenos convencional creando un sistema que permite aprovechar al máximo la adherencia disponible sin llegar a bloquear las ruedas.

Los sistemas antibloqueo no reducen la distancia de frenado en comparación con los sistemas convencionales, pero sí evitan que esta aumente en las situaciones en que las ruedas pueden llegar a bloquearse y, además, mejoran en gran medida la seguridad en la conducción.

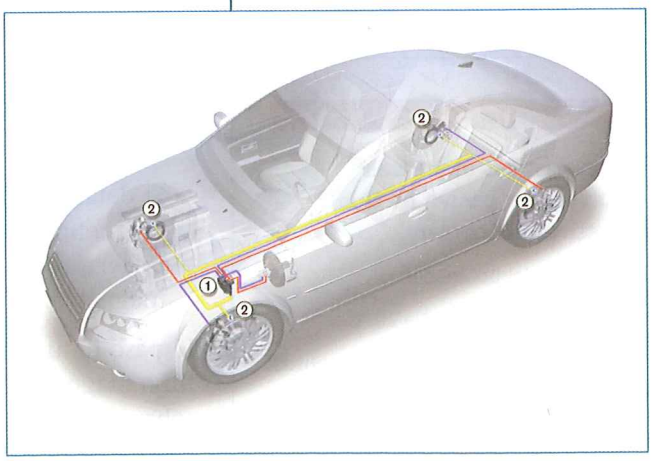
Para evitar el bloqueo de las ruedas se instala un dispositivo que regula la presión de frenado: el dispositivo ABS. Su funcionamiento consiste en interponer entre la bomba de freno y las canalizaciones de los cilindros receptores de cada rueda (delanteras y traseras) electroválvulas comandadas por una unidad de control que regulan la presión de frenado.

Este procedimiento, por tanto, regula la fuerza de frenado de cada rueda, indistintamente de la acción que pueda ejercer el conductor sobre el pedal del freno.

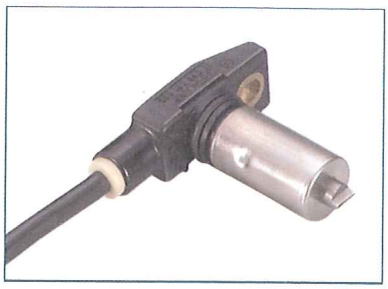
Este sistema, además de los componentes del sistema de frenos convencional, está formado por (figura 14.1):

- Sensores de velocidad de giro de rueda (2).
- Unidad de mando (UCE) (1).
- Unidad hidráulica (grupo electrohidráulico) (1).

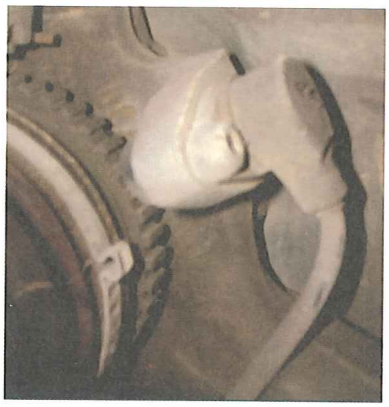
Los sensores de velocidad de giro de rueda registran las velocidades de cada una de las ruedas y envían las señales eléctricas a la unidad de mando, que las procesa y activa los actuadores (electroválvulas) de la unidad hidráulica.



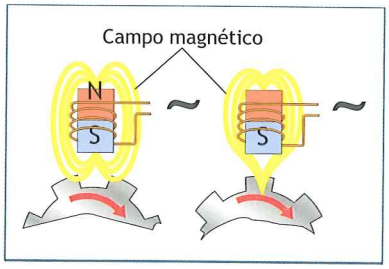
14.1. Esquema general de un sistema ABS.



14.2. Sensor pasivo de tipo inductivo monopolar.



14.3. Sensor pasivo de tipo inductivo instalado.



14.4. Campo magnético del imán del sensor.

Características eléctricas de un sensor pasivo de tipo inductivo monopolar

Resistencia del bobinado:

1 600 Ω ± 320 Ω a 20 °C

Velocidad mínima detectada y amplitud de la tensión generada:

2,75 km/h → 1,20 Vpp

2 >> Sensores de velocidad de giro de rueda

Los sensores de velocidad, instalados en el buje o mangueta de cada rueda, transmiten a la unidad de mando la información de la velocidad a la que gira cada rueda.

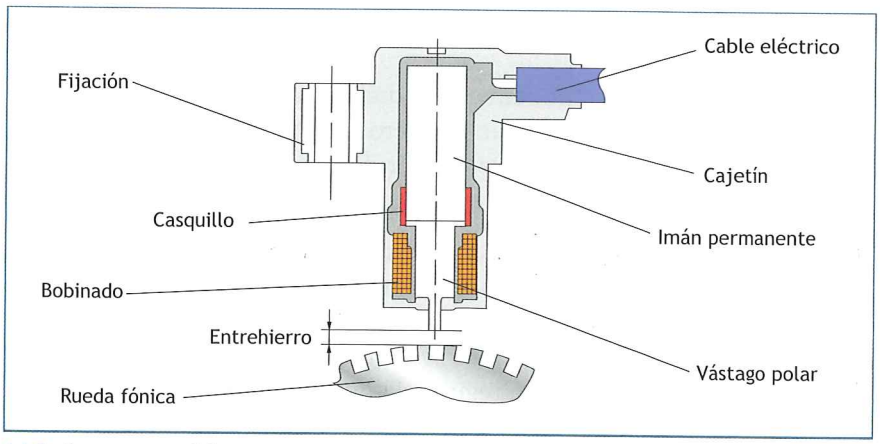
Según su modo de funcionamiento, los sensores de velocidad de rueda que se utilizan se dividen en dos tipos:

- Sensores pasivos: no necesitan alimentación externa para generar la señal.
- Sensores activos: necesitan alimentación externa para generar la señal.

2.1 > Sensor pasivo de tipo inductivo monopolar

Este sensor se sitúa enfrentado a una rueda dentada, denominada rueda fónica, dado que la frecuencia de la señal generada está dentro del rango de las ondas sonoras (de 20 Hz a 20 Khz), y esta rueda está colocada en la junta homocinética de los semiárboles de transmisión o en el buje de la rueda.

El sensor consta de un imán permanente junto a un núcleo de hierro dulce (vástago polar) sobre el que se arrolla un bobinado de cobre. Este conjunto está situado frente a la rueda fónica a una distancia, por lo general, de 1 mm aproximadamente denominada entrehierro. Esta distancia debe ser respetada con precisión para evitar posibles modificaciones de la forma de la señal que generarían lecturas erróneas de la misma.



14.5. Componentes del sensor pasivo de tipo inductivo monopolar.

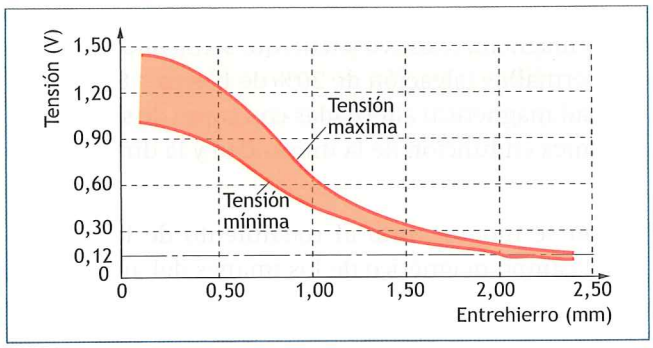
El campo magnético generado por el imán es conducido por el vástago polar hasta la rueda fónica y esta, al girar, lo modifica así (figura 14.4):

- Si delante del captador se sitúa un hueco de la rueda fónica, el flujo magnético se debilita.
- Si delante del captador se sitúa un diente de la rueda fónica, el campo magnético se concentra y el flujo magnético se refuerza.

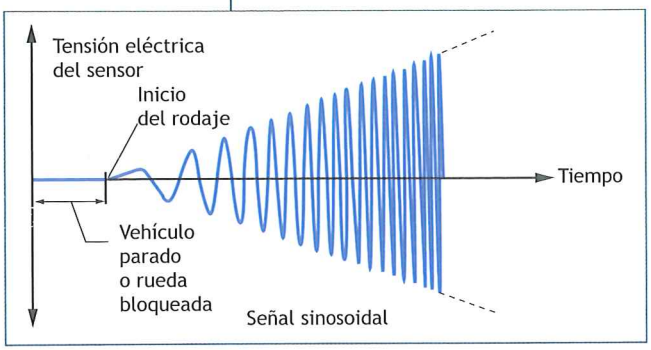
El paso de un diente a un hueco, o a la inversa, provoca variaciones del flujo magnético que producen una tensión alterna sinusoidal (figura 14.7) sobre la bobina del captador cuya amplitud y frecuencia dependen de la velocidad de giro de la rueda fónica, del número de dientes que posee, de la cota del entrehierro, de la forma del diente y de los materiales utilizados.

La señal obtenida a partir del punto de inicio de rodaje de la rueda se ve afectada por los fenómenos electromagnéticos y eléctricos debido a la pequeña amplitud de la señal (µV). Cuando las velocidades de rotación son altas, la amplitud de la señal aumenta a más de 100 V, por lo que la unidad de mando ha de protegerse para soportar tales tensiones.

Como se puede apreciar en la figura 14.6, la señal de salida del captador inductivo monopolar se ve influida por la distancia del entrehierro, obteniéndose importantes diferencias en la salida entre las distancias de 0,5 a 1,5 mm.



14.6. Tensión generada por un sensor inductivo monopolar en función del entrehierro a una velocidad de 2,75 km/h.



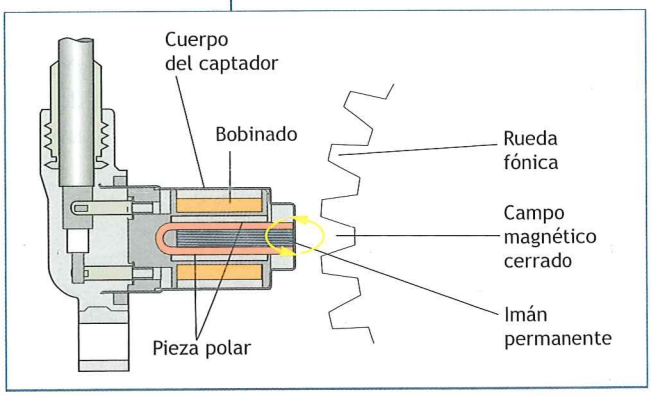
14.7. Variación en amplitud y frecuencia de la señal del sensor inductivo en función de las revoluciones de la rueda.

2.2 > Sensor pasivo de tipo inductivo bipolar

El sensor inductivo bipolar funciona de manera similar al monopolar. Su principal diferencia es que la calidad de la señal dada por el bipolar está más reforzada por lo que es menos sensible a los parásitos (ruido).

Para poder reforzar la señal de salida del sensor, este dispone de una pieza polar en forma de «U» que amplía la zona de acción del campo magnético del imán. Así, en un momento dado un diente de la rueda fónica coincide con un extremo de la pieza polar y, al mismo tiempo, un hueco de la rueda fónica coincide con el otro extremo de la pieza polar, lo que es semejante a disponer de dos imanes con dos bobinados. Con esta disposición se generan dos señales opuestas y el sensor envía como salida la resta de ambas señales. De este modo se obtiene una señal amplificada, lo que la hace menos sensible a los parásitos (ruido):

$$1\ Vp - (-1\ Vp) = 2\ Vp$$



14.8. Componentes del sensor pasivo inductivo bipolar.

14.9. Modelos de sensor inductivo bipolar en función de su posicionamiento.

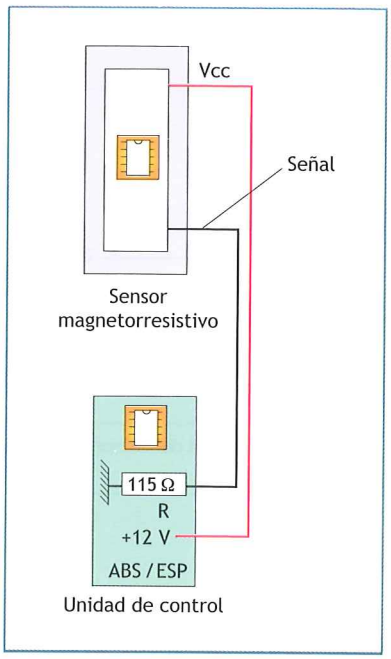
Características eléctricas de un sensor pasivo de tipo inductivo bipolar

Resistencia del bobinado:

1 100 Ω ± 50 Ω a 20 °C

Velocidad mínima detectada y amplitud de la tensión generada:

2,75 km/h → 1,50 Vpp



14.10. Circuito eléctrico del sensor magnetorresistivo.

2.3 > Sensor activo de tipo magnetorresistivo

Estos sensores están constituidos por los siguientes elementos (figura 14.11):

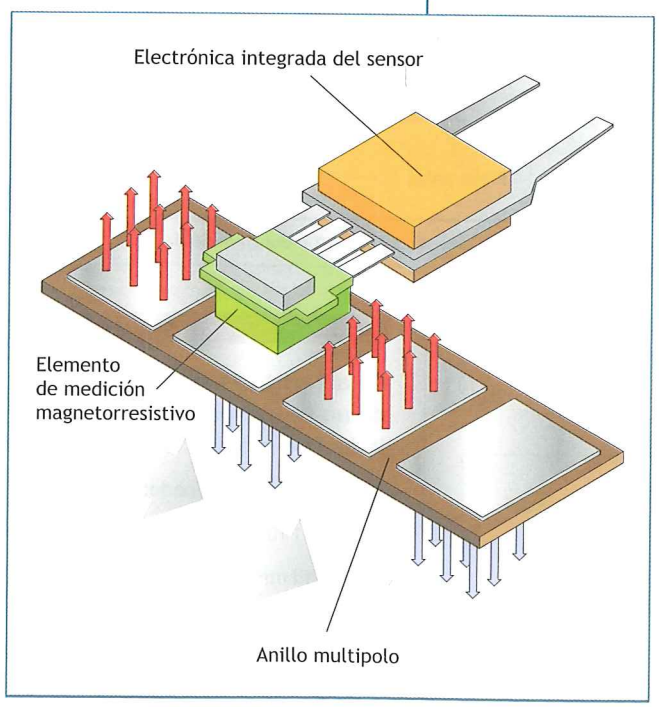
- Elemento de medición magnetorresistivo.
- Electrónica integrada.
- Anillo múltiplo.

La rueda fónica se sustituye en este sensor por 48 pares de polos (imanes) que están ordenados alternativamente en polaridad (N/S) e incorporados a un anillo.

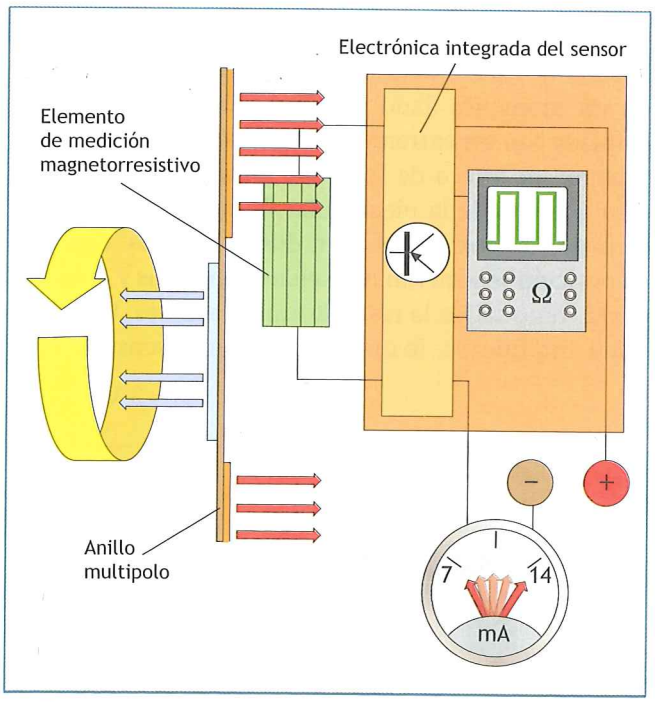
El elemento de medición magnetorresistivo (elemento semiconductor) dispone de finas capas de permalloy (aleación de 20% de hierro y 80% de níquel de alta permeabilidad magnética) alternadas con capas de silicio, que varían su resistencia óhmica en función de la intensidad y la dirección del campo magnético.

El elemento de medición se monta junto al rodamiento de la rueda o dentro de él, expuesto al campo magnético de los imanes del anillo. Este, al girar acorde a la velocidad del vehículo, cambia constantemente el flujo magnético que afecta al elemento de medición.

El elemento de medición está configurado en puente de Wheatstone, en cuyos extremos se toma la variación de tensión en función del paso de los campos magnéticos (N/S). La variación de la resistencia óhmica provoca una variación de la caída de tensión en el elemento de medición, que es evaluada por la parte electrónica. Esta, a su vez, genera una corriente de 7 o 14 mA. Ambos niveles de intensidad crean una caída de tensión en la resistencia de 115 Ω situada en la unidad de control, que oscila entre 0,8 V para la parte baja de la señal y 1,6 V para la parte alta de la señal.



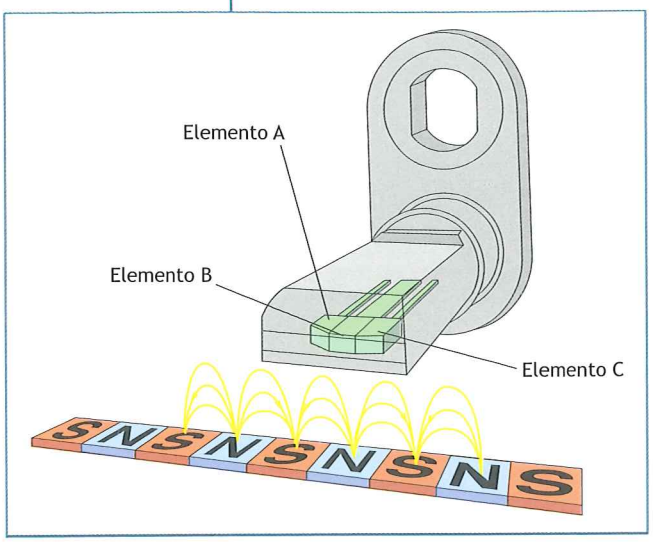
14.11. Componentes del sensor activo de tipo magnetorresistivo.



14.12. Efecto del campo magnético en el sensor.

2.4 > Sensor activo de efecto Hall con anillo multipolo

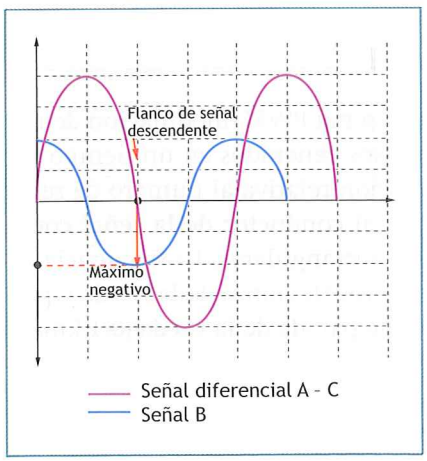
Estos sensores están constituidos por tres elementos de medición separados entre sí (A, B y C), ubicados en el mismo sensor de medición y expuestos al campo magnético de un anillo multipolo con 48 pares de polos alternados (N/S) situado en el rodamiento de la rueda.



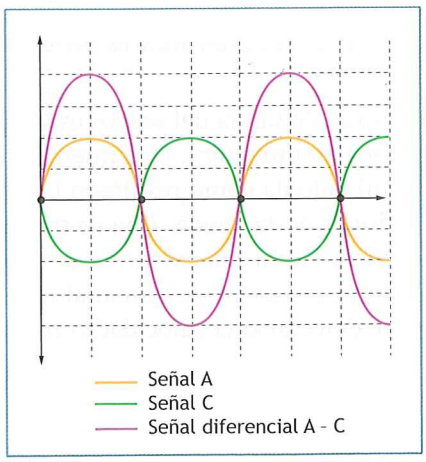
14.13. Estructura del sensor activo de efecto Hall.

El funcionamiento del sensor Hall está basado en la derivación que sufren los portadores de carga en un metal o semiconductor por el que circula una corriente y que se expone a un campo magnético. Surge así un campo eléctrico transversal y una diferencia de potencial (voltaje Hall). Este sensor detecta las variaciones en la densidad del flujo magnético. Para ello, está dispuesto de forma que los tres elementos Hall están lo suficientemente separados como para detectar en el mismo instante la inducción máxima (medidor A) y mínima (medidor C) del campo magnético. Dentro del sensor se generan tensiones dependientes del flujo magnético que pasa por cada uno de los elementos de medición y, finalmente, el sensor procesa como resultado una señal diferencial (A − C) (figura 14.15).

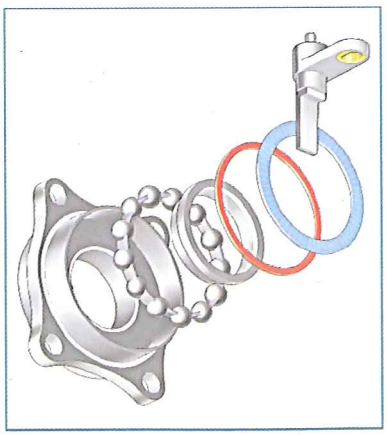
El elemento de medición B, situado entre A y C, detecta un máximo magnético (positivo o negativo) cuando la señal diferencial (A − C) presenta un paso por cero para detectar el sentido de giro. Por ejemplo, si en un momento determinado la señal diferencial presenta un paso por cero a través del flanco descendente de la misma y coincide con un máximo negativo de la señal B, se interpretará como un giro de la rueda hacia la izquierda (figura 14.14).



14.14. Señal B (sentido de giro).



14.15. Señal diferencial A - C.

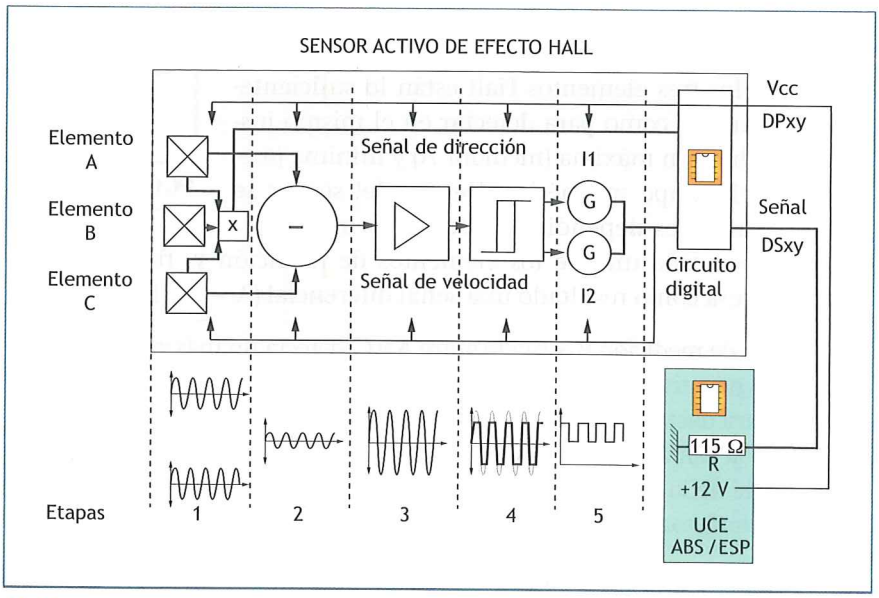


14.16. Ubicación del anillo multipolo en el rodamiento de la rueda.

Un cable de dos hilos conductores comunica el sensor de velocidad con la UCE. Cada etapa de la cadena de tratamiento de la señal en el sensor está alimentada por un circuito electrónico integrado en el mismo y la masa se suministra por el conductor de la señal en unión con la masa de la UCE del ABS o ESP. La referencia de masa no es de cero voltios, pero sí de algunos milivoltios (diferencia de potencial).

Proceso de la señal en el sensor y la UCE

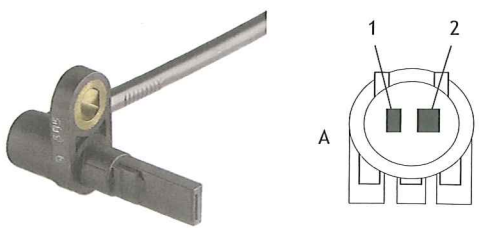
La señal diferencial (A — C) de unos microvoltios de amplitud que se obtiene (etapa 1) es filtrada con el fin de eliminar los parásitos y obtener una única señal (etapa 2). La nueva señal obtenida pasa por un amplificador (etapa 3) y un oscilador, donde se configura como una señal cuadrada (etapa 4). Al final, pasa por dos generadores de corriente (G) en montaje paralelo de un valor de 7 mA cada uno (etapa 5). El primer generador de corriente aporta un suministro permanente y delimita el nivel bajo de la señal (7 mA) y el segundo se conmuta para delimitar el nivel alto de la señal (7 mA + 7 mA = 14 mA). La finalidad de los generadores es obtener una señal limpia y constante, no sensible a los parásitos.



14.17. Etapas del sensor activo de efecto Hall.

La señal de salida del sensor es un tipo de señal PWM (modulación de impulsos en duración). El número de impulsos generados en un tiempo determinado da como resultado la información relativa al número de revoluciones de la rueda, que es transmitida al conductor de la señal como corriente aplicada en forma de impulsos rectangulares. La frecuencia de la corriente es proporcional al número de revoluciones de la rueda y permite detectar una velocidad cercana a la de parada de la rueda (0,1 km/h).

Pin 1: alimentación del sensor (hilo blanco)

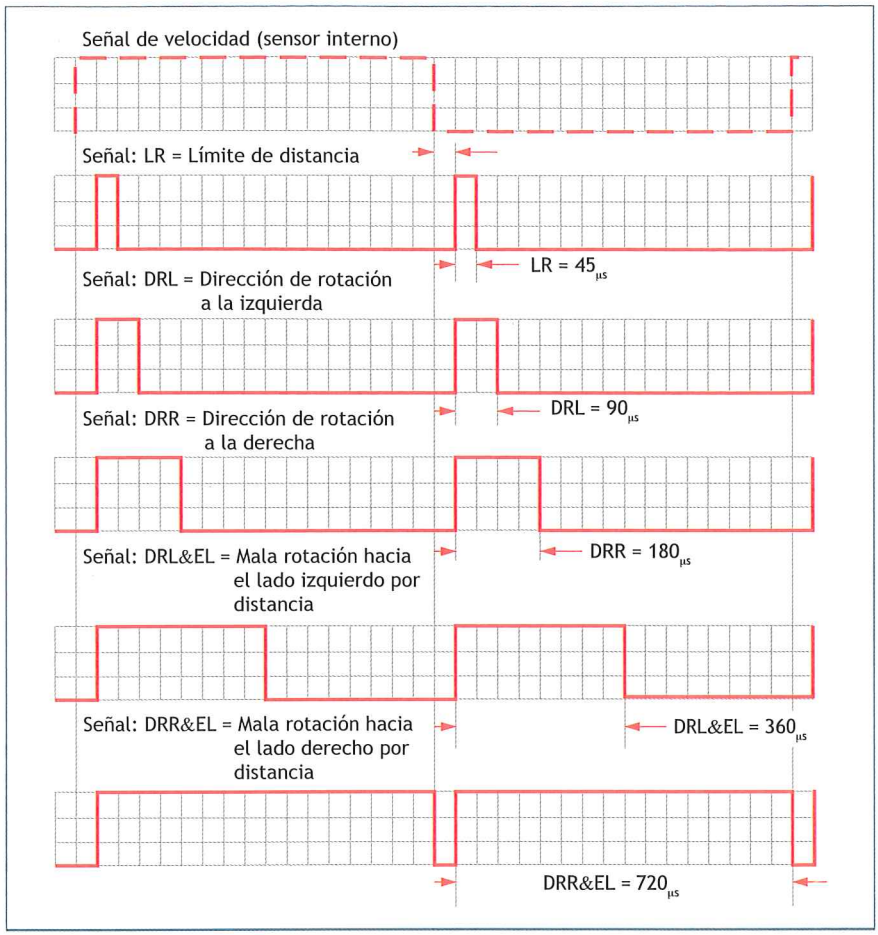


Pin 2: señal (hilo negro)

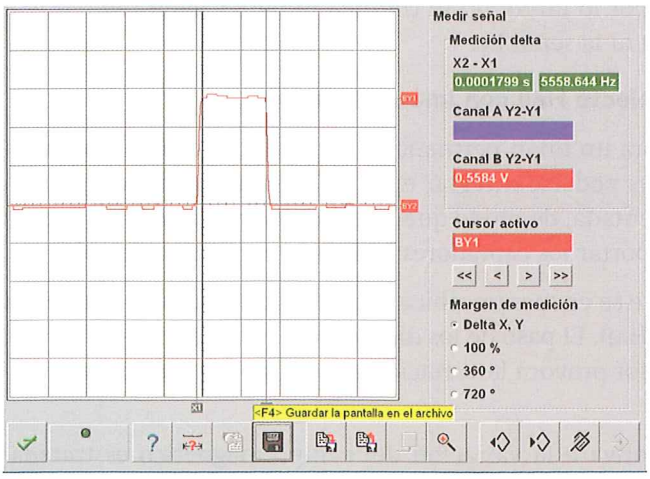
14.18. Sensores Hall y conexiones.

Además de la señal de revoluciones (señal digital), en la anchura de los impulsos se codifican las siguientes señales complementarias:

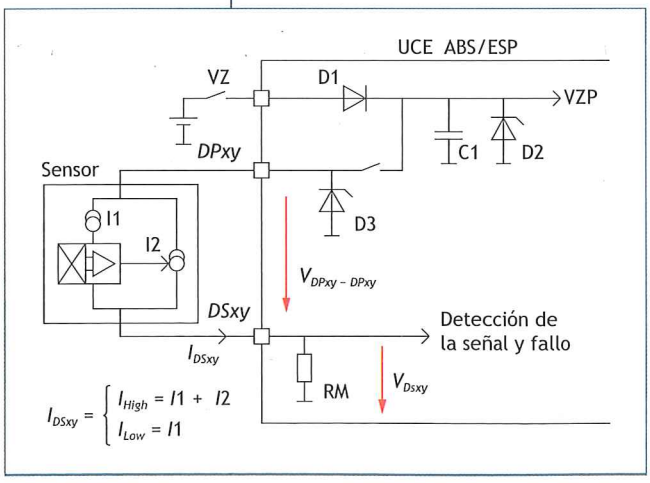
- Sentido de giro (marcha adelante/marcha atrás) **(DR):** consiste en un bit de información que se activa cuando el anillo multipolo pasa por el sensor en un sentido prefijado.
- Posición de montaje **(EL):** consiste en un bit de información que se activa cuando el campo magnético o, en su caso, el entrehierro no alcanza o sobrepasa un determinado valor prefijado.
- Reserva de entrehierro **(LR):** consiste en un bit de información que se activa cuando el campo magnético o, en su caso, el entrehierro no alcanza un determinado valor prefijado.
- Detección de vehículo parado **(STOP):** cuando el sensor no reconoce ningún cambio del campo magnético (N/S) durante un tiempo mayor o igual a 740 ms, comienza a generarse cada 740 ms un impulso con una longitud prefijada.



14.19. Gráfica de las señales PWM generadas por el sensor Hall.



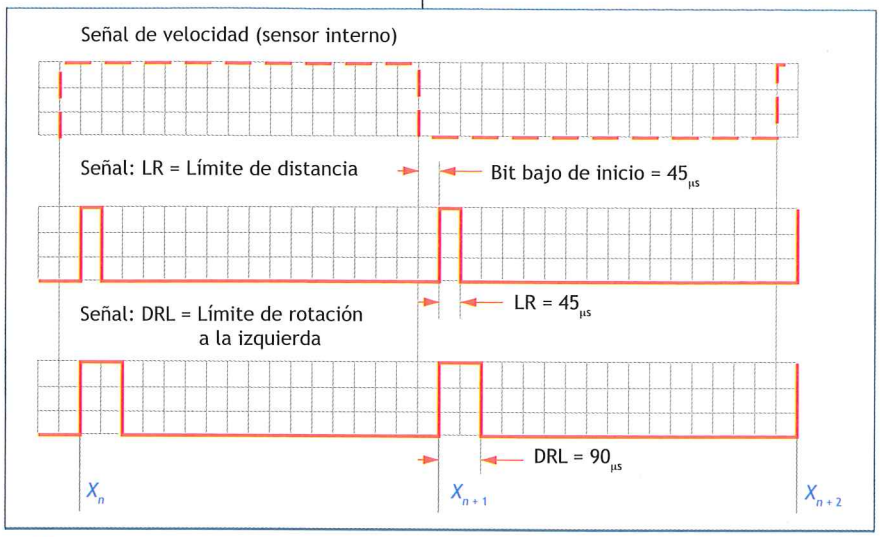
14.20. Ejemplo de señal DRR de una Mercedes vito.



14.21. Esquema de un sensor Hall.

La UCE del ABS/ESP lleva instalada una resistencia de bajo valor que, con los dos terminales del sensor, constituye un divisor de tensión. Entre los terminales DP_{xy} y DS_{xy} se aplica la tensión de batería U_b y la señal de salida del sensor ocasiona una caída de tensión V_{DSxy} en la resistencia RM. Esta caída de tensión en la resistencia es analizada por la unidad de mando.

Especificación de las señales complementarias



14.22. Ejemplo de señales complementarias.

Para cada flanco de la señal de velocidad (sensor interno) se codifica un impulso alto de diferente anchura (señales complementarias). La anchura del impulso alto de la señal complementaria permite interpretar la información que contiene. Como se puede apreciar en la figura 14.22, la señal correspondiente a la reserva del entrehierro o límite de distancia LR está codificada por un impulso de $45_{\mu s}$ de anchura. En cambio, la señal correspondiente a la dirección de rotación a la izquierda de la rueda correspondiente (DRL) está codificada por un impulso de $90_{\mu s}$.

Cada impulso alto codificado para la señal complementaria viene precedido por un bit bajo de inicio de una anchura de $45_{\mu s}$. Su finalidad es asegurar la codificación del flanco alto de todas las señales complementarias sobre la señal de la velocidad de la rueda dada por el sensor interno (aunque sea un impulso alto de gran anchura).

La información de la velocidad de la rueda del sensor interno (régimen de revoluciones) se determina entre los flancos X_n y X_{n+2}.

Cuando se transmite la señal codificada LR, las demás señales quedan omitidas (LR es dominante), puesto que la señal del límite del entrehierro es fundamental y, por lo tanto, no se codifica ninguna señal referente al sentido de giro (DR) ni la señal EL.

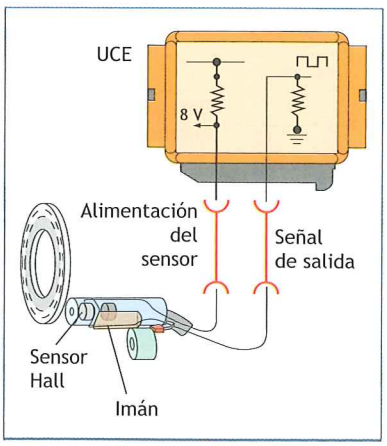
Sensor activo de efecto Hall con imán integrado

Este sensor incorpora un imán permanente y no requiere el anillo multipolo. Su finalidad es poderse integrar en aquellas transmisiones que disponen de corona dentada, de modo que se evite tener que acoplar nuevas manguetas para soportar los captadores activos con anillo multipolo.

El imán permanente se encuentra ubicado en el propio sensor, por detrás del semiconductor Hall. El paso de los dientes y de los huecos de la corona por delante del sensor provoca la variación del campo magnético en su interior.

La información relativa a la variación del campo magnético es tratada, procesada y transformada por la electrónica del sensor en una señal de salida de corriente mediante dos amplificadores de 7 mA montados en paralelo (proceso similar al de los sensores Hall con anillo multipolo).

El sensor activo de efecto Hall con imán integrado es alimentado por la unidad de mando. La señal de salida del sensor es medida por la unidad de mando como un valor de tensión en función de la resistencia de carga situada en dicha unidad de mando ABS/ESP.



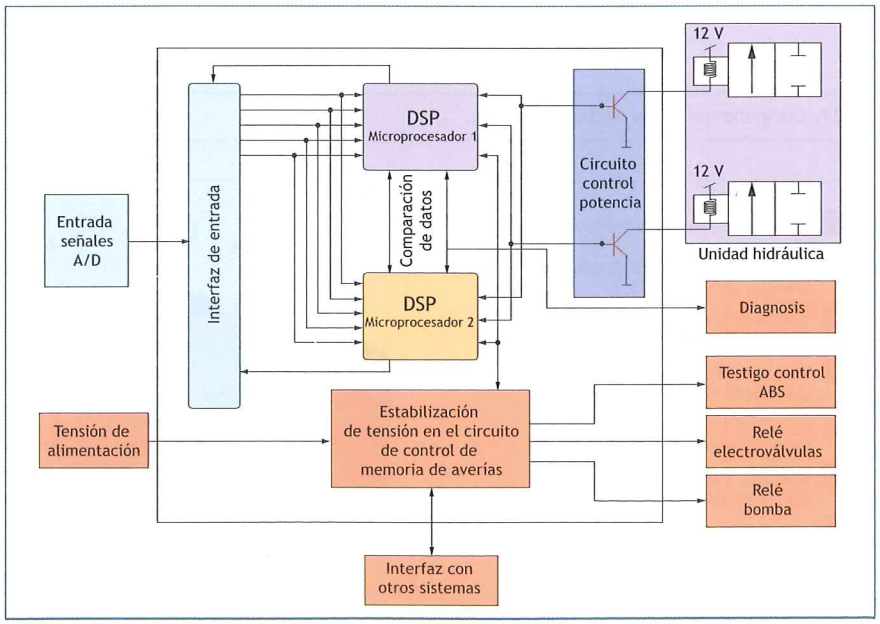
14.23. Configuración del circuito eléctrico del sensor Hall.

3 >> Unidad de mando (UCE) del sistema electrónico de frenado y estabilidad

La unidad de mando (UCE) del sistema electrónico de frenado y estabilidad es la responsable de procesar las señales de entrada procedentes de los sensores y gestionar las señales de salida para la activación de los correspondientes actuadores.

En la actualidad, gracias al poder de integración de la electrónica, en algunos modelos la unidad de mando de los sistemas electrónicos de frenado forma parte del grupo electrohidráulico y, además, puede sustituirse y separarse del mismo en caso de avería.

Está construida con tecnología de placas conductoras (cuatro capas) y contiene procesadores separados parcialmente redundantes que procesan la señal y se supervisan mutuamente. Dispone de accionadores y relés de semiconductores para regular las electroválvulas y las bombas, además de las conexiones e interacciones entre el hardware y el software (interfaces) para el procesamiento de señales y sus correspondientes entradas para señales adicionales (interruptor de luces de freno, etc.). Posee también un punto de conexión multiplexada (CAN) para comunicarse con otras unidades de control (motor, cambio automático, etc.). Las informaciones de los sensores son procesadas en base a determinados métodos de cálculo matemático (algoritmos de control y regulación) cuyos resultados originan las señales de activación para los actuadores de la unidad hidráulica.



14.25. Esquema de componentes de la unidad de mando.

La unidad de mando asume todos los sistemas de gestión eléctrica y electrónica y de control de los sistemas electrónicos de frenado: alimentación de sensores y actuadores, registro de las averías en memoria, conversión de los datos, acondicionado y transmisión de datos y enlaces por la red multiplexada.

14.24. Unidad de mando en la unidad hidráulica.

Interruptor de freno

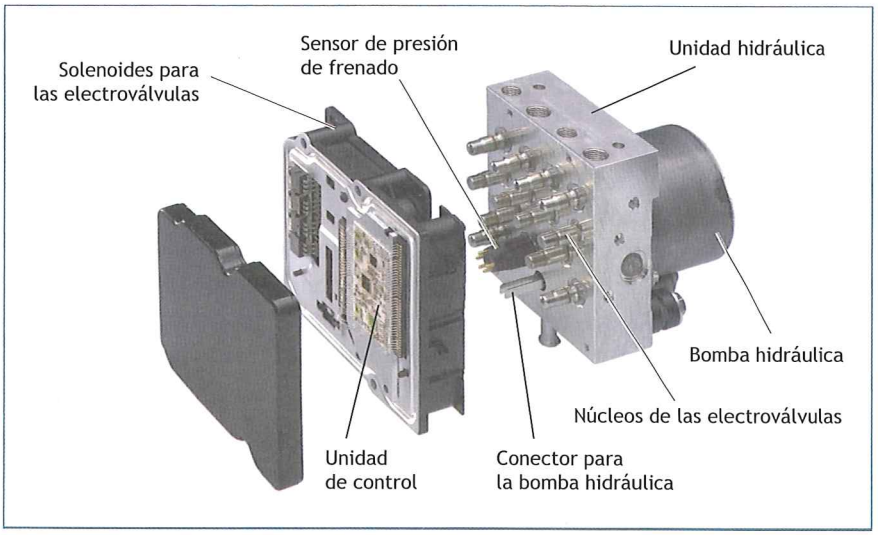
La unidad de mando recibe información del interruptor de freno que le permite controlar la continuidad del mismo y también reconocer el instante en que comienza la acción de frenado.

14.26. Unidad hidráulica y de mando ABS instalada.

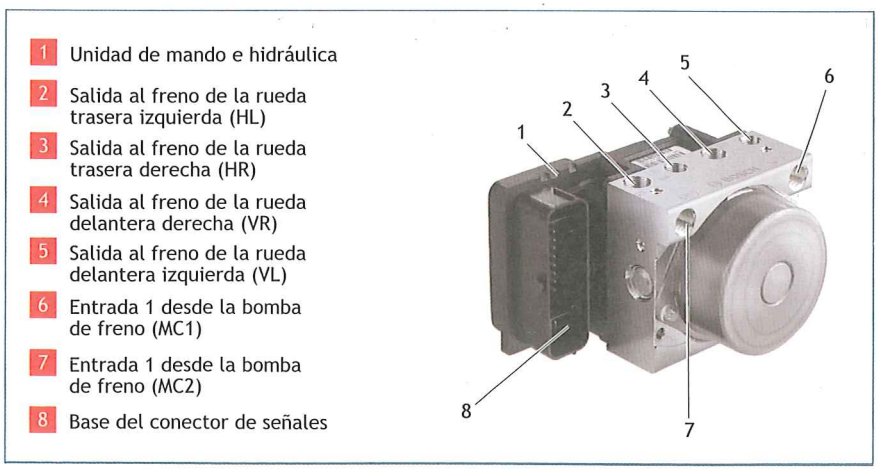
4 >> Unidad hidráulica del sistema electrónico de frenado y estabilidad

La unidad hidráulica gestiona las señales procedentes de la unidad de mando regulando, mediante electroválvulas, las presiones de frenado en las ruedas.

Dentro de la unidad hidráulica hay unas electroválvulas que pueden conectar o interrumpir el flujo del líquido de frenos a través de las canalizaciones entre la bomba de freno y los cilindros receptores de la rueda. Asimismo, dispone de una bomba hidráulica de recirculación, amortiguadores de presión y acumuladores para líquido de frenos.



14.27. Componentes en la unidad hidráulica.



14.28. Conexiones exteriores de una unidad hidráulica.

El tipo de electroválvulas que se utiliza depende de la versión de la unidad hidráulica (versión ABS) que se emplee. Existen dos versiones:

- Electroválvulas de tres vías y tres posiciones (modelo antiguo).
- Combinación de dos electroválvulas de dos vías y dos posiciones.

4.1 > Sistema con electroválvulas 3/3 vías (ABS Bosch versión 2)

En esta versión de ABS la unidad de mando está separada de la unidad hidráulica y se ubica en el interior del vehículo, para que esté protegida de la humedad. Además, está conectada a la unidad hidráulica mediante una conexión múltiple.

La unidad hidráulica recibe el líquido hidráulico de la bomba de freno y lo envía a cada pinza del freno de rueda por separado a través de las correspondientes canalizaciones. Este procedimiento le permite variar la presión en función de las órdenes que recibe de la unidad de mando.

La unidad de mando recibe la señal de la velocidad de la rueda de cuatro sensores, uno por rueda (sensores pasivos de tipo inductivo), y la unidad hidráulica está formada por cuatro electroválvulas (3/3 vías), una por rueda, configuración de cuatro canales (número de circuitos de control de rueda).

4.2 > Sistema con dos electroválvulas 2/2 vías y dos posiciones

Las unidades electrohidráulicas han evolucionado sustituyendo las válvulas de tres vías por dos electroválvulas de dos vías para cada rueda: una de entrada o admisión y otra de salida o escape, lo que suma un total de ocho electroválvulas.

El grupo electrohidráulico está compuesto por dos secciones fijadas entre sí: una sección compuesta por la unidad de mando y su gestión electrónica, los conectores (principal y bomba) y los solenoides de las electroválvulas y otra sección, hidráulica, compuesta por los núcleos de las electroválvulas, la bomba hidráulica de descarga, los acumuladores de baja presión y los acumuladores de alta presión (cámara de amortiguación).

14.29. Unidad hidráulica del ABS (sin unidad de mando). Electroválvulas 3/3 vías.

14.30. Unidad electrohidráulica del sistema electrónico de frenado y estabilidad (unidad de mando integrada). Electroválvulas 2/2 vías.

5 >> Funcionamiento del sistema ABS

Observación

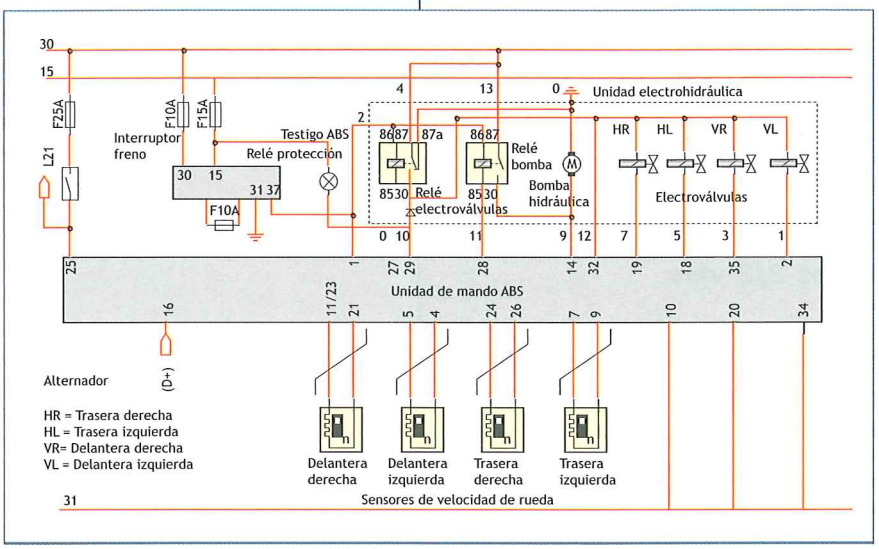
El comportamiento del sistema ABS en sus distintas fases de funcionamiento depende del tipo de electroválvulas que posea.

Cuando el conductor pisa el pedal del freno, cada rueda sufre una deceleración distinta en función de su adherencia. La unidad de mando, combinando las distintas velocidades, se encarga de elaborar una velocidad de referencia que es memorizada y actualizada constantemente para obtener, aproximadamente, la velocidad del vehículo en cada instante de la frenada.

Contrastando la velocidad de cada rueda con la velocidad de referencia se consigue averiguar la pérdida de adherencia de cada rueda (deslizamiento). La unidad de mando, además, tiene memorizados los valores límite de deceleración y aceleración que no pueden superar ninguna de las ruedas.

A partir de esta información y en función de las señales que recibe de la unidad de mando, la unidad hidráulica regula la presión del líquido de frenos de cada uno de los frenos de rueda siguiendo un ciclo de tres fases:

- Fase de aumento o generación de la presión.
- Fase de mantenimiento de la presión a un valor constante.
- Fase de reducción o desalojo de la presión.



14.31. Esquema ABS (electroválvulas 3/3 vías).

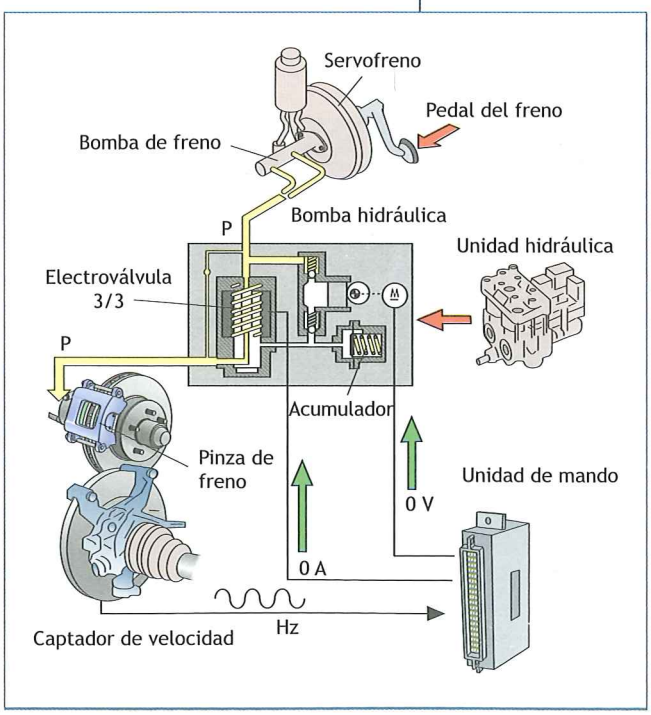
5.1 > Sistema con electroválvulas 3/3 vías

Fase de generación de la presión

En esta fase las electroválvulas de la unidad hidráulica permanecen en su estado de reposo, normalmente abiertas, y en el circuito se genera la presión de frenado normal correspondiente a la que genera el conductor al pisar el pedal del freno. De este modo a la pinza de frenos llega toda la presión del fluido y el sistema de ABS permanece inactivo, pero en alerta.

Al aumentar la fuerza de frenado, la velocidad relativa de la rueda disminuye respecto a la velocidad del vehículo, aumentando el deslizamiento.

Si la reducción de la velocidad provoca que la rueda pierda adherencia por su tendencia al bloqueo y por el estado del pavimento, la unidad de mando será informada a través del sensor de velocidad de la rueda. A continuación se activará el ABS y tendrá lugar la consiguiente actuación para regular la presión en la rueda correspondiente. De este modo la velocidad aumentará momentáneamente para recuperar la adherencia con el pavimento.



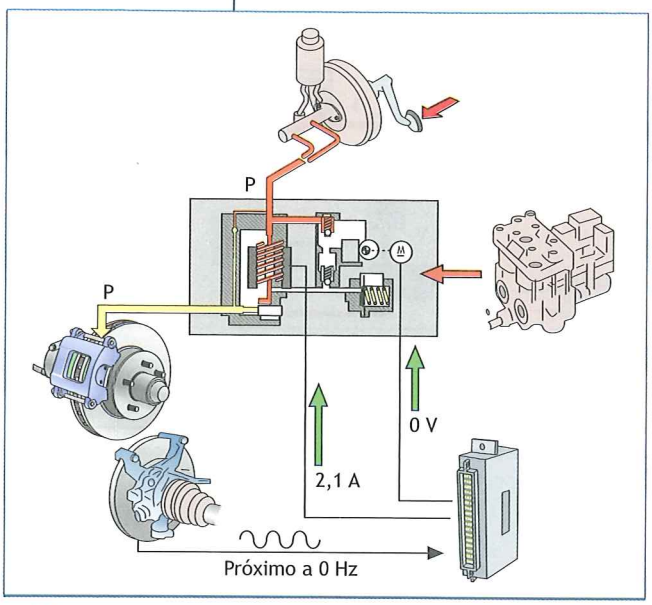
14.32. Fase de generación de la presión.

Fase de mantenimiento de la presión

Cuando la unidad de mando, mediante la información que recibe de los sensores de velocidad de la rueda, detecta la tendencia al bloqueo de una o varias ruedas, envía la señal de excitación correspondiente (de aprox. 2,1 A) a la electroválvula. En consecuencia esta pasa a ocupar una posición intermedia, cerrando la entrada del fluido desde la bomba de freno.

El cilindro de freno de la rueda correspondiente se queda aislado y la presión en el interior del mismo se mantiene constante respecto al valor alcanzado previamente.

Cuando la tendencia al bloqueo desaparece, se pasa a la fase de generación de la presión y se efectúa una frenada normal. Sin embargo, cuando la tendencia al bloqueo persiste, se pasa a la última fase.

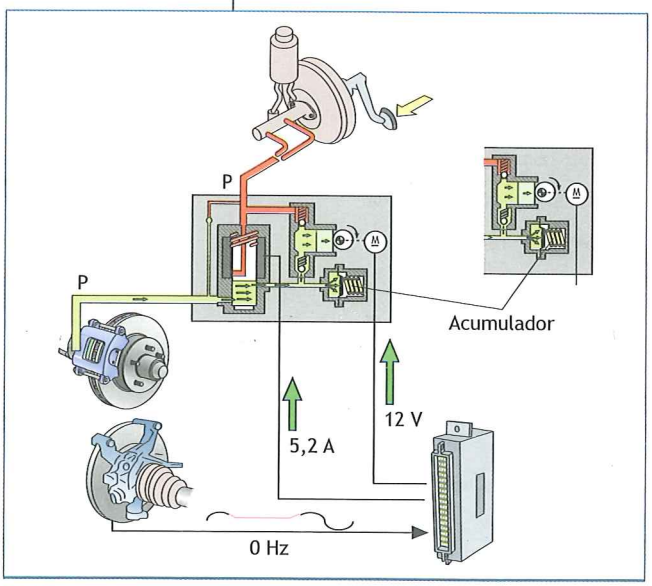


14.33. Fase de mantenimiento de la presión.

Fase de reducción de la presión

Cuando una rueda persiste en la tendencia al bloqueo por un valor alto de deslizamiento, la unidad de mando envía a la electroválvula la señal de excitación correspondiente (de aprox. 5,2 A).

Esto provoca que el cilindro de la bomba de freno quede aislado y que, al mismo tiempo, se abra la conexión con la bomba hidráulica de descarga, accionada por la unidad de mando mediante un motor eléctrico (aprox. 50 A) que gira a unas 3 000 rpm. La bomba succiona el fluido del cilindro de freno a través del circuito secundario y lo envía hacia el circuito principal de la bomba de freno, de modo que se reduce la cantidad de fluido en el cilindro y la presión disminuye. Esta circulación del fluido provoca pulsaciones en el pedal del freno que el conductor percibe al seguir frenando, pero que son completamente normales cuando interviene el ABS.

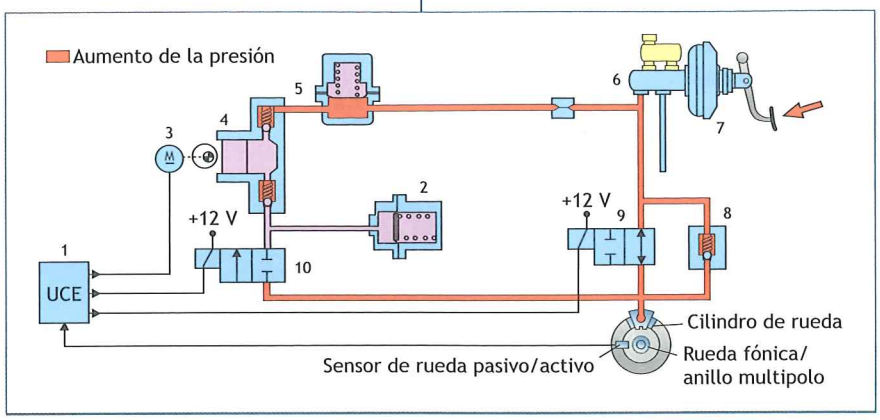


14.34. Fase de reducción de la presión.

El acumulador del circuito secundario consta de una membrana y un resorte tarado a una determinada presión. Cuando la conexión en la electroválvula se abre, la presión del fluido hace que la membrana se desplace, venciendo la fuerza del resorte y almacenando una parte del fluido, consiguiendo que aumente el volumen del circuito secundario y que baje más rápidamente la presión en el cilindro de freno. Así, la rueda sometida a una fuerza de frenado menor aumenta su velocidad para aproximarla a la del vehículo.

El ciclo de regulación de frenado está supeditado por la secuencia de las tres fases, pasando de una fase a otra cuando la unidad de mando lo determina con la finalidad de que el vehículo no pierda su trayectoria y su estabilidad en el frenado. El ciclo de regulación se repite de 4 a 10 veces por segundo hasta una velocidad de unos 6 km/h, momento en que el sistema ABS se desactiva para que el vehículo se pueda detener completamente.

5.2 > Sistema con dos electroválvulas 2/2 vías



14.35. Fase de aumento de la presión en un sistema con dos electroválvulas 2/2 vías.

Fase de aumento de la presión

Al pisar el pedal del freno, la bomba (6) genera una presión que llega a las pinzas de freno sin sufrir ninguna variación, dado que la electroválvula de admisión (9) de la unidad hidráulica se encuentra en su posición de reposo, normalmente abierta, y la válvula de escape (10) suele estar cerrada. Es esta situación, se realiza una frenada normal con aumento de la presión del fluido y sin intervención del ABS.

Las electroválvulas de admisión incorporan una válvula antirretorno de bola (8) que ayuda al desalojo rápido de la presión en el cilindro de la rueda cuando cesa la acción de frenado.

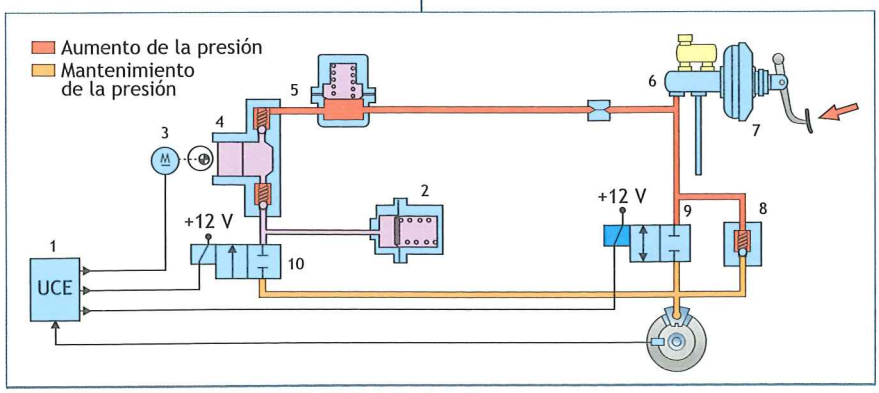
Cuando el sensor de velocidad de rueda, durante la acción de frenado, indica que se han alcanzado valores de deceleración que reducen la adherencia con el pavimento, la unidad de mando procede a excitar por masa a la electroválvula o las electroválvulas correspondientes. De este modo se pasa a la siguiente fase de regulación para reducir la fuerza de frenado y, así, aumentar la velocidad de la rueda y recuperar su adherencia.

1. Unidad de mando del ABS
2. Acumulador de baja presión
3. Motor de la electrobomba
4. Electrobomba de descarga de presión
5. Acumulador de alta presión
6. Bomba de freno
7. Servofreno Mastervac
8. Válvula antirretorno de bola
9. Electroválvula de admisión
10. Electroválvula de escape

Fase de mantenimiento de la presión

La unidad de mando conecta a masa la electroválvula de admisión (9), que se abre, y la electroválvula de escape (10) permanece en su estado de reposo al no ser excitada por la unidad de mando. La conexión hidráulica entre la bomba de freno (6) y el cilindro de rueda queda interrumpida (posición de espera). La presión reinante en el cilindro de rueda se mantiene constante en el valor alcanzado, independientemente de la presión que posea el circuito hidráulico en este momento.

No obstante, aunque la fuerza de frenado siga disminuyendo la velocidad, la rueda modifica su velocidad en función de la adherencia con el pavimento hasta que el sensor de velocidad de la rueda detecta un valor comparable a la velocidad de referencia calculada por la unidad de mando.



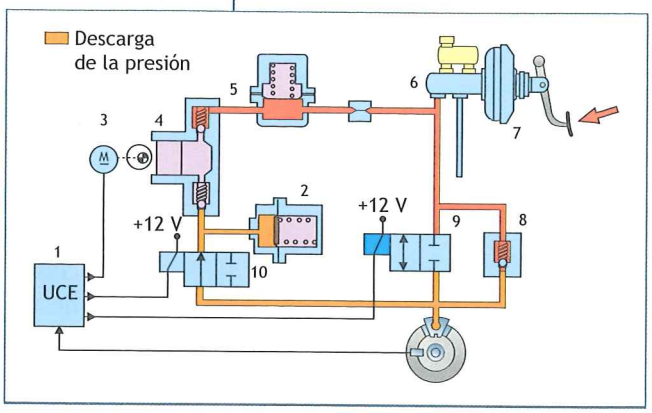
14.36. Fase de mantenimiento de la presión en un sistema con dos electroválvulas 2/2 vías.

En este instante, si la rueda acelera, la unidad de mando desactiva la fase de mantenimiento de la presión y se vuelve a la fase de aumento de la presión (frenada normal); pero si la rueda, por la pérdida de adherencia, tiene tendencia al bloqueo, la unidad de control activa la fase de reducción de la presión.

Fase de reducción de la presión

La unidad de mando, al ser informada de la tendencia de la rueda al bloqueo, activa los componentes de la unidad hidráulica para controlar la deceleración de la rueda dentro del valor límite admitido.

La unidad de mando conecta a masa durante breves instantes la electroválvula de escape (10), además de mantener conectada la válvula de admisión (9). La electroválvula de admisión (9) queda abierta, interrumpiendo la entrada de presión procedente de la bomba de freno al cilindro de freno de rueda. Esta acción provoca una disminución de la presión de frenado, dado que el líquido de frenos es evacuado hacia el acumulador de baja presión (2) a través de la válvula de escape (10). Seguidamente se produce un aumento de la velocidad de giro de la rueda. Este aumento de velocidad debe ser muy breve, ya que el vehículo se encuentra en fase de frenado y la presión debe aumentar inmediatamente. Para ello, la válvula de escape (10) se abre y la válvula de admisión (9) se cierra.



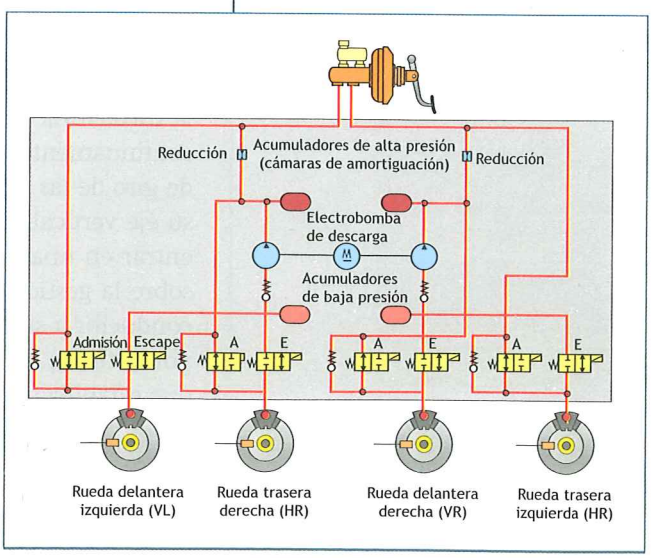
14.37. Fase de reducción de la presión en un sistema con dos electroválvulas 2/2 vías.

Las tres fases de regulación se suceden con una determinada frecuencia en función de la tendencia al bloqueo de la rueda. Durante el proceso de regulación parte del líquido de frenos retorna al acumulador de baja presión, lo que origina que se acorte el recorrido del pedal del freno. La unidad de mando activa la electrobomba de presión, que aspira líquido de frenos del acumulador de baja presión y lo introduce a través de la cámara de amortiguación (5) y la reducción de la canalización, con una presión en el circuito principal suficiente para elevar el pedal del freno.

En esta fase se generan una serie de empujes hidráulicos que son atenuados por la cámara de amortiguación (5) y la reducción en la canalización. Esta regulación es el origen de la trepidación, actualmente más suave, del pedal del freno durante el proceso de regulación del sistema ABS.

Los ciclos de regulación se suceden con una frecuencia de 4 a 10 veces por segundo, dependiendo de la adherencia de la rueda. Por lo general el ABS se desactiva con velocidades del vehículo inferiores a 2,75 km/h para que las ruedas puedan bloquearse completamente cuando se detiene el vehículo.

El esquema de la figura 14.38 se corresponde con un circuito hidráulico completo de un sistema de ABS con una configuración dual del mando hidráulico en X. Como se puede observar, cada uno de los cilindros de rueda dispone de dos electroválvulas, y con cada una de las dos distribuciones se dispone de un acumulador de baja y alta presión. Además, una electrobomba de descarga actúa en las dos distribuciones.



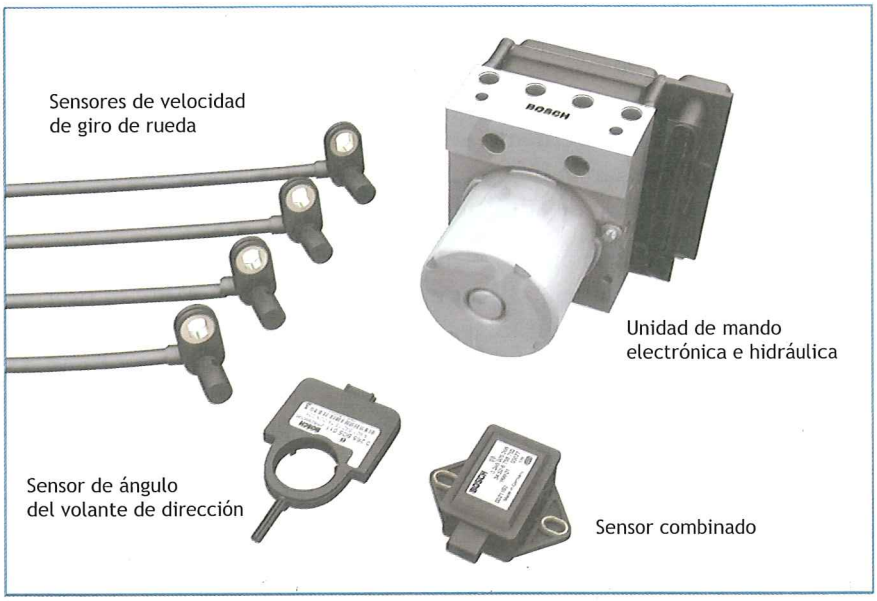
14.38. Esquema hidráulico del sistema ABS.

6 >> Programa electrónico de estabilidad (ESP)

El ESP *(electronic stability program)* es un sistema de seguridad activa adaptado a la gestión electrónica del ABS que utiliza la técnica de sensores y la hidráulica del sistema de frenos para mantener la estabilidad y direccionalidad del vehículo.

El sistema ESP, además de los componentes del ABS, cuenta con los siguientes elementos (figura 14.39):

- Sensor combinado de aceleración y de giro o de derrape.
- Sensor de ángulo del volante de dirección.
- Sensor de presión del líquido de frenos.
- Unidad hidráulica.

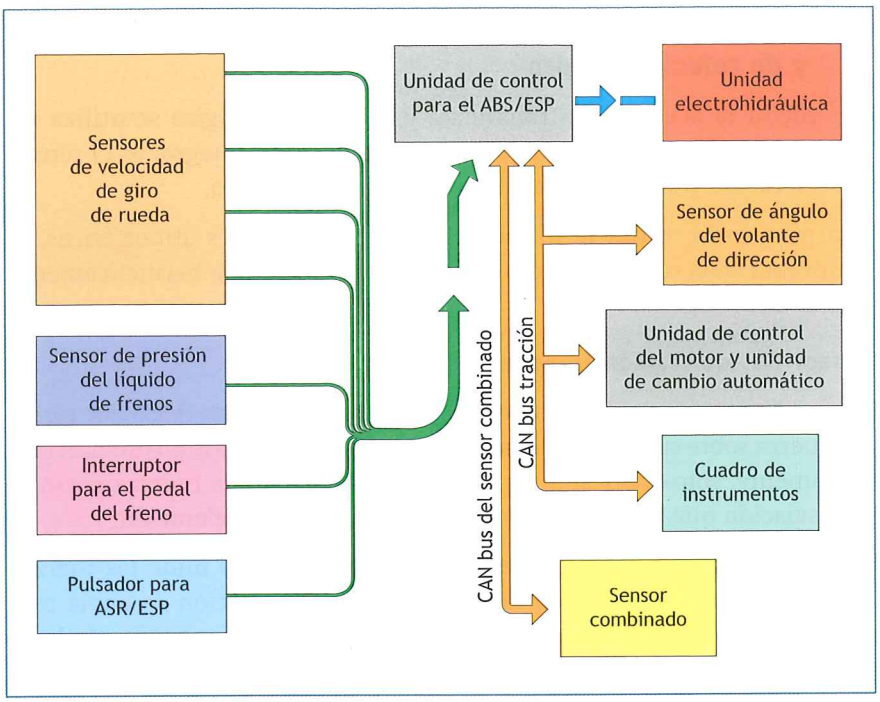


14.39. Componentes del sistema ESP.

Funcionamiento del ESP

La función del control electrónico de estabilidad (ESP) consiste en mantener la trayectoria del vehículo ordenada por el conductor. Los sensores miden continuamente sobre el vehículo el ángulo de giro de la dirección, la velocidad de giro de las ruedas, la aceleración transversal y el giro del vehículo sobre su eje vertical. El ESP reconoce inmediatamente cuándo el vehículo puede entrar en una situación de inestabilidad y actúa en milésimas de segundo sobre la gestión electrónica del motor y el sistema de frenos, ayudando al conductor a superar la situación crítica (dentro de los márgenes impuestos por la física) mediante la aplicación activa de fuerzas de frenado selectivas que estabilizan la trayectoria.

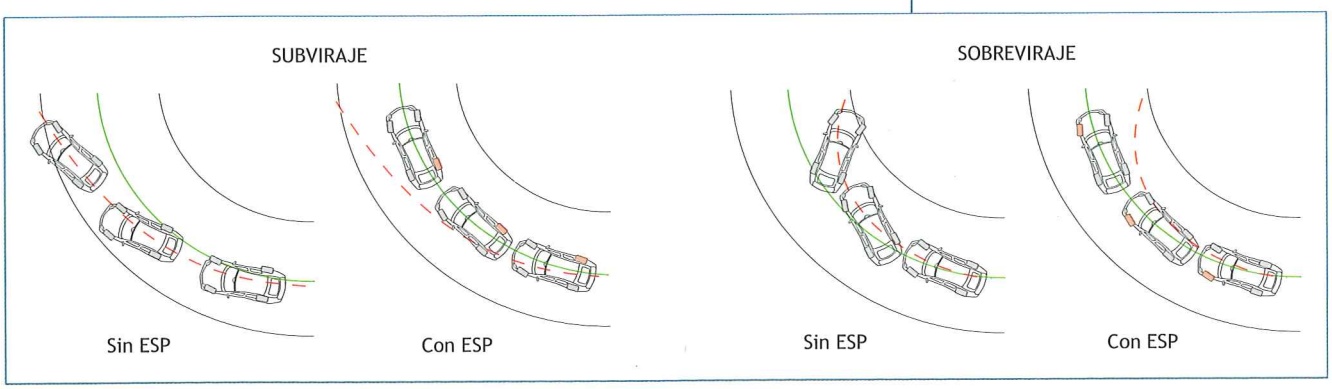
Cuando el vehículo realiza un viraje, puede ocurrir que, debido a la fuerza centrífuga, en una o varias ruedas se produzca una disminución de la adherencia transversal de contacto del neumático con la calzada, dando como resultado un derrape del vehículo. En este instante entra en funcionamiento el ESP.



14.40. Componentes del sistema ESP.

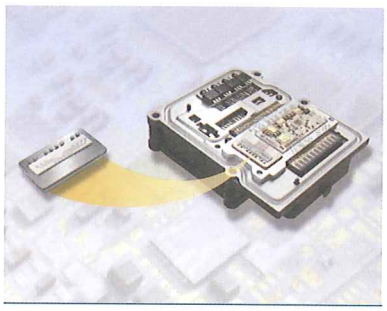
La intervención del ESP se puede manifestar en dos comportamientos del vehículo (figura 14.41):

- **Subviraje:** el vehículo describe una trayectoria más abierta de la que el conductor desea, tendiendo a seguir recto. El ESP compara el ángulo de dirección del volante con el ángulo de giro real del vehículo y, si no coinciden, evita que el vehículo se salga de la curva actuando específicamente en el freno de la rueda trasera interior de la curva e interviniendo en la gestión electrónica del motor y del cambio de velocidades (cambio automático).
- **Sobreviraje:** el vehículo describe una trayectoria más cerrada de la que el conductor desea, tendiendo a desviarse por detrás y a cerrar la trayectoria. El ESP compara el ángulo de dirección del volante con el ángulo de giro real del vehículo y, si no coinciden, evita el derrape del vehículo actuando específicamente en el freno de la rueda exterior de la curva e interviniendo en la gestión del motor y del cambio de velocidades (cambio automático).



14.41. Subviraje y sobreviraje.

14.42. Sensor combinado exterior de aceleración y relación de giro de DRS MM5 de Bosch.



14.43. Sensores ubicados en el interior de la unidad de control.

6.1 > Sensor combinado de aceleración transversal y de relación de giro

Para medir la aceleración transversal y la relación de giro se utiliza un sensor micromecánico de silicio en cuya placa están integrados el sensor de aceleración transversal y el sensor de relación de giro.

Para protegerlo contra la influencia de las condiciones atmosféricas, el sensor está en el interior de una carcasa metálica cerrada herméticamente y llena de nitrógeno.

Sensor de aceleración transversal

Para medir la aceleración transversal se aprovecha el efecto físico que ejerce una fuerza sobre cuerpos acelerados. Mientras estos cuerpos no estén fijados rígidamente, sino elásticamente, serán impulsados por la fuerza operante. La desviación que se produzca será una medida de la aceleración.

El sensor de aceleración transversal es muy sensible y mide las fuerzas centrífugas que aparecen en las curvas. Esta información se envía a la unidad de mando. El microcontrolador compara permanentemente la situación y reacciona si el vehículo no tiene una estabilidad adecuada. A través de curvas programadas, la unidad de mando calcula en milésimas de segundo las acciones que se deben realizar.

Sensor de relación de giro

Este sensor detecta si hay pares de giro que actúan sobre un cuerpo. Según la posición en que esté montado, puede comprobar el giro en torno a uno de los ejes espaciales.

En el sistema ESP, este sensor se encarga de detectar si el vehículo gira en torno a su eje geométrico vertical. Los dispositivos utilizados para medir la velocidad de rotación, denominados girómetros, se basan en el efecto coriolis. El sensor combinado está alimentado con una tensión de 12 V y conexión CAN bus.

6.2 > Sensor de ángulo del volante de dirección

El sensor de ángulo envía a la unidad de mando, a través de CAN bus, las siguientes informaciones:

- Información del ángulo de giro del volante (de 0 a 720°).
- Sí-inicialización.
- No-inicialización.
- Información de proveedor.

El sensor de ángulo del volante de dirección tiene un rango de trabajo de ± 720°. El rango de tolerancia tiene que ser inferior a una desviación de ± 5° durante toda la vida útil del sensor.

Existen dos sensores angulares de tipo magnético y de medición absoluta que pueden detectar en todo momento el ángulo de giro del volante de la dirección en todo el campo angular que alcance:

- Sensor Hall LWS1.
- Sensor magnetorresistivo LWS3.

Mantenimiento

Al sustituir los sensores de ángulo del volante es necesario calibrarlos o realizar un ajuste básico con un equipo de diagnosis.

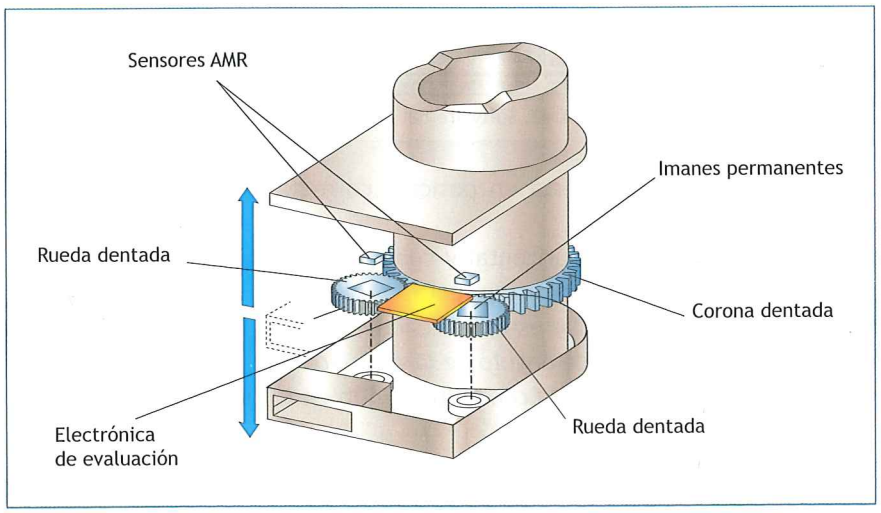
Sensor Hall LWS1 (Bosch)

El sensor LWS1 trabaja con 14 IC-Hall (barreras Hall) que detectan, paso a paso, el ángulo de desviación absoluto del volante, incluido el número de vueltas, con un código. El funcionamiento de una barrera Hall es similar al de una barrera de luz (que también se usa como sensor de ángulo de dirección): el integrado Hall mide el campo magnético generado por un imán contiguo, campo que puede ser fuertemente debilitado o anulado por un disco metálico de codificación. El sensor utiliza (figura 14.44) nueve circuitos integrados Hall (3) que suministran una información digital del ángulo del volante. Otros cinco circuitos integrados Hall (5) registran el número de vueltas de giro del volante, que es transmitido por medio de un engranaje (4) en relación 4:1 dentro del campo de 360°. El sensor está alimentado con una tensión de 12 V y tiene conexión con el CAN bus.

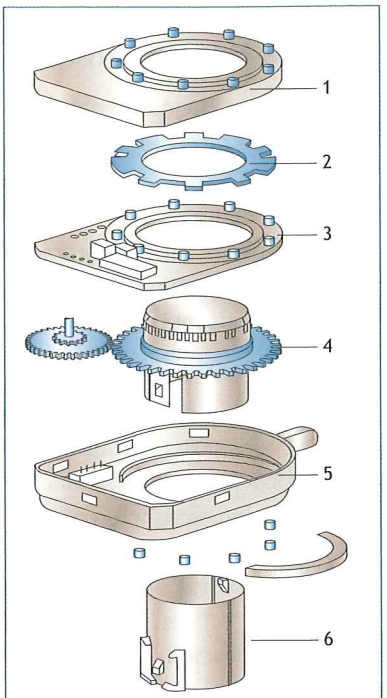
Sensor magnetorresistivo LWS3 (Bosch)

El dispositivo sensor LWS3 funciona con sensores magnetorresistivos AMR *(ansiotrop magneto resistive)* cuya resistencia eléctrica sufre variación en función del sentido de un campo magnético exterior. En la figura 14.45 se observa la estructura esquemática de este sensor y pueden distinguirse las dos ruedas dentadas en las que están colocados unos imanes permanentes. Por encima de estos se sitúan los sensores AMR y la electrónica de evaluación.

La información angular sobre un campo de cuatro vueltas completas del volante de la dirección resulta de la medición de las posiciones angulares de las dos ruedas dentadas accionadas por una corona dentada fijada en el árbol de la dirección. Las dos ruedas dentadas se diferencian entre sí por tener una de ellas un diente de más, lo que permite asignar a cada posición posible del volante de la dirección un par de valores claramente definidos. La electrónica de evaluación calcula con algoritmos matemáticos el ángulo del volante. La salida se la señal se realiza a través del CAN bus.



14.45. Estructura del sensor de ángulo del volante magnetorresistivo (LWS3).



1. Tapa con nueve imanes permanentes equidistantes
2. Disco de codificación (material magnético)
3. Nueve IC-Hall y microprocesador
4. Engranaje
5. Cinco IC-Hall
6. Casquillo de fijación para la columna de la dirección

14.44. Estructura del sensor de ángulo del volante de tipo Hall (LWS1).

14.46. Sensor magnetorresistivo LWS3.

Casos prácticos

Calibración del sensor de ángulo de dirección del volante

•• Al taller llega un vehículo Citroën C4 Picasso de 2008 que necesita la calibración del transmisor/sensor de ángulo de dirección del volante. Realiza esta calibración.

Solución •• Esta calibración debe realizarse para compensar a cero los valores del sensor de ángulo de la dirección. Para ello será necesario el uso de un equipo de diagnosis. En este ejemplo vamos a utilizar el equipo de diagnosis multimarca CDP de MIAC.

Los casos en los que se debe realizar una calibración del sensor son los siguientes:

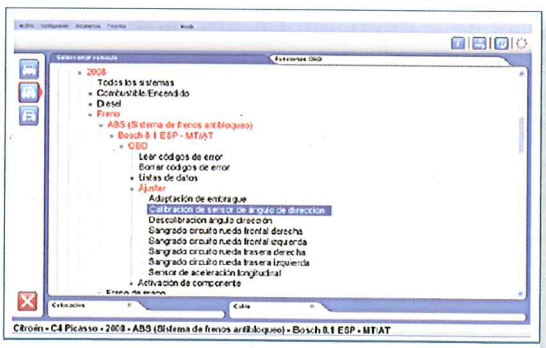
- Sustitución de la unidad de mando del ABS/ESP.
- Sustitución del sensor de ángulo de la dirección.
- Sustitución de la columna de la dirección.
- Cualquier reparación que afecte a la alineación de la dirección.
- Desconexión del sensor de ángulo de la dirección.
- Memorización de un código de avería en la unidad de mando del ABS/ESP que requiere de una compensación a cero.
- Descalibración.

Antes de realizar la calibración es necesario efectuar una descalibración. Durante el proceso de calibración el conmutador de encendido y arranque del vehículo debe estar en la posición de encendido y la tensión de la batería debe ser superior a 12 V.

El procedimiento de calibración se realiza en tres fases consecutivas:

1. Conectamos el equipo de diagnosis al vehículo mediante el OBD. Seleccionamos el vehículo en el equipo de diagnosis y accedemos al sistema mediante el menú desplegable, según la siguiente secuencia (figura 14.47):

Freno > ABS > BOSCH 8.1 ESP > OBD > Ajustar



14.47. Software del equipo de diagnosis.

2. Realizamos la descalibración mediante los siguientes pasos:
- Seleccionamos en el menú *Descalibración ángulo de dirección.*
- A continuación aparece el cuadro de dialogo *Operación realizada con éxito* o *Fallo en la operación.*
- Pulsamos *OK.*

3. Realizamos la calibración siguiendo estos pasos:
- Comprobamos que el volante de la dirección del vehículo está en posición correcta en relación con la posición recta de las ruedas delanteras.
- Conducimos el vehículo en línea recta sobre una superficie horizontal y comprobamos que no se desplaza hacia ningún lado, manteniendo el volante de la dirección en posición recta.
- Detenemos el vehículo y verificamos que el volante y las ruedas están alineados.
- Seleccionamos en el menú la función *Calibración del sensor de ángulo de la dirección.*
- A continuación aparece el cuadro de dialogo *Operación realizada con éxito* o *Fallo en la operación.*
- Pulsamos *OK.*
- Borramos los códigos de avería memorizados y realizamos una prueba de conducción, comprobando que el valor del ángulo de la dirección en la lista de datos se halla en el rango ±5°.

6.3 > Sensor de presión del líquido de frenos

Este sensor mide la presión del circuito hidráulico del freno generada por la fuerza ejercida por el conductor al pisar el pedal del freno. Por seguridad, genera dos señales de presión independientes que son enviadas al mismo tiempo en forma de señales de tensión contrapuestas.

En función de la velocidad de subida de la presión que detecte el sensor de presión, la unidad de mando calculará la velocidad de activación del pedal del freno impuesta por el conductor.

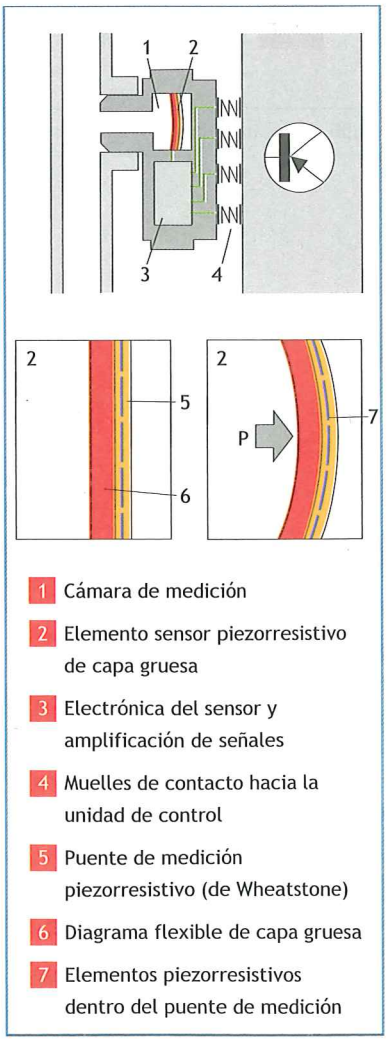
La unidad de mando del ESP evalúa las señales de velocidad de activación del pedal del freno y la velocidad del vehículo. Si el valor de la magnitud de la velocidad del pedal del freno es más alto que el valor calculado de la velocidad del vehículo, se activa la bomba de alta presión en la unidad hidráulica, llegando a la plena presión en el sistema de freno. La unidad de mando del ESP, para su funcionamiento correcto, requiere en todo momento la señal de presión del circuito hidráulico.

14.48. Sensor de presión del líquido de frenos en el interior de la unidad hidráulica.

Estructura

El sensor de presión del líquido de frenos está integrado en la unidad hidráulica del sistema ABS/ESP (figura 14.48). Para regular la dinámica de marcha es necesario un sensor que sea resistente a la presión admisible en el sistema hidráulico de frenos (hasta 350 bares) y al rango de temperaturas de funcionamiento.

Este sensor basa su funcionamiento en la variación de la conductividad que experimentan los materiales al ser sometidos a deformaciones de su estructura (principio piezorresistivo). Está compuesto por cuatro resistencias de material semiconductor (elementos piezorresistivos) montadas en puente de Wheatstone (5) e instaladas sobre un diafragma (6).



14.49. Estructura del sensor de presión.

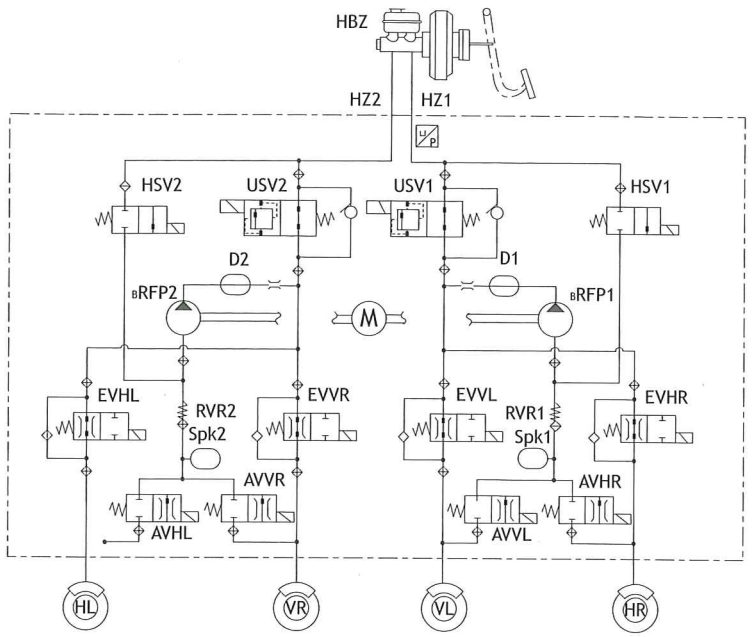
Funcionamiento

El aumento de la presión del circuito hidráulico modifica la longitud del diafragma (6) y del puente de medición piezorresistivo (5), que es solidario al diafragma. Al ser modificada la forma del diafragma, se generan fuerzas que actúan sobre los elementos piezorresistivos (7) que están contenidos en el puente de medición modificando el reparto de sus cargas eléctricas. La variación de las cargas implica la variación de sus propiedades eléctricas. Estas variaciones son proporcionales a la presión y se transmiten como señal a la unidad de mando.

El sensor está conectado con la unidad de mando mediante cuatro muelles de contacto (4): dos contactos sirven para la alimentación de tensión del sensor y los otros dos para las dos señales de salida de medición del sensor independientes entre sí.

El sensor de presión es evaluado de forma constante por la unidad de mando mediante la comparación de las dos señales que suministra. Si estas señales no coinciden en un rango de tolerancia prefijado, la unidad de mando diagnostica una avería del sensor. En este caso, las funciones del ESP se limitan al ABS y al EBV (distribución electrónica de la fuerza de frenado).

HBZ	Bomba de freno
RVR1-2	Válvula antirretorno
HSV1-2	Válvula de aspiración
Spk1-2	Acumulador
USV1-2	Válvula de conmutación
EV	Electroválvula de admisión
D1-2	Cámaras amortiguadoras
AV	Electroválvula de escape
RFP1-2	Retorno de la bomba autoaspirante
M	Motor de la bomba



14.50. Esquema hidráulico del sistema ABS/ESP.

El dibujo del grupo hidráulico de la figura 14.50 muestra las válvulas en estado de reposo. Si el conductor pisa el pedal del freno, el líquido de frenos circula a través de las válvulas de admisión y de conmutación que se encuentran normalmente cerradas hasta los cilindros de freno de la rueda. Cuando el conductor suelta el pedal del freno, el líquido de frenos retorna a la bomba de freno. Ante una situación de frenado activo (sin intervención del conductor) para estabilizar el vehículo, se abrirá la válvula de conmutación, se cerrará la válvula de aspiración y se conectará la bomba de recirculación autoaspirante.

Mantenimiento de la presión

Para evitar un aumento de la presión en el cilindro de rueda, la electroválvula de admisión tiene que interrumpir, en caso de un eventual bloqueo de una rueda, la unión con la bomba de freno. Si se frena activamente, el líquido de frenos restante, que todavía es transportado por la bomba de recirculación autoaspirante, fluye a través de las válvulas limitadoras de presión (situadas en las válvulas de conmutación) hasta la bomba de freno. Para evitar un esfuerzo innecesario de la bomba, la válvula de aspiración deja de controlarse y se abre en caso de frenado activo, cuando las dos válvulas de admisión están controladas (abiertas) en el circuito de frenos.

Reducción de la presión

Si una rueda persiste en el bloqueo, se tendrá que reducir la presión de frenado en el cilindro de rueda lo antes posible. La válvula de escape se cierra y, tan pronto se ha reducido la presión suficiente en el cilindro de rueda, la electroválvula de escape se abre para generar presión o para mantenerla.

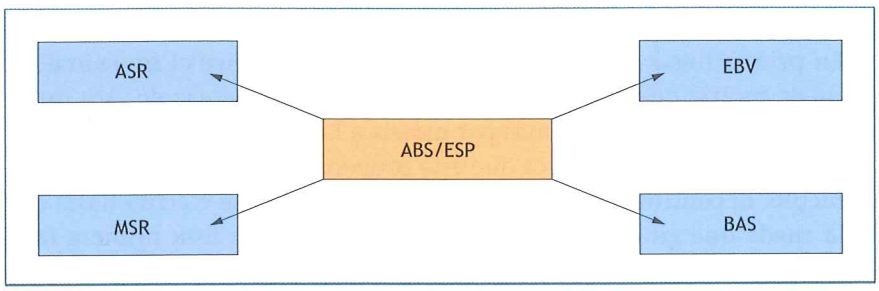
Bomba de precarga

En situaciones de circulación entra en acción el sistema de tracción antideslizante o bien la regulación de la dinámica de marcha. Como resultado, las ruedas se frenan independientemente, sin que el conductor pise el pedal del freno.

Este tipo de frenado se denomina frenado activo. Debido a que la viscosidad del líquido de frenos aumenta repentinamente con temperaturas inferiores a -20 °C, la hidráulica de frenos reacciona con retraso. Para compensar este efecto y lograr un frenado activo rápido se necesita la bomba de precarga.

7 >> Funciones asumidas por la unidad de mando del ABS/ESP

Los sistemas con ABS/ESP, además de las funciones principales, llevan a cabo otras funciones parciales integradas en el ESP. Estas funciones pueden intervenir de forma independiente o de forma paralela:



14.51. Funciones del sistema ABS/ESP.

- **Función EBV** (distribución electrónica de la fuerza de frenado): evita que la presión de frenado sobre las ruedas traseras sea excesiva antes de la intervención del ABS.
- **Función ASR** (regulación antideslizamiento de la tracción): evita el deslizamiento de las ruedas motrices en las aceleraciones sobre superficies con baja adherencia, interviniendo en el sistema de frenos y en la gestión electrónica del motor.
- **Función MSR** (regulación del par de inercia del motor): evita que se bloqueen las ruedas motrices cuando se utiliza el freno motor levantando repentinamente el pie del acelerador o cuando se frena.
- **Función BAS** (asistente de frenado): ayuda al conductor en situaciones de frenada de emergencia. Llegado el caso, el sistema proporciona toda la presión hidráulica necesaria para la acción de frenado, con la intervención de la bomba de retorno del sistema ESP.

7.1 > Función EBV

La fuerza de adherencia de los neumáticos fundamentalmente depende del peso que soportan y del coeficiente de adherencia (neumático/calzada). Debido a la aceleración, la deceleración y los estados de carga, se produce en el vehículo una variación de la fuerza de adherencia, por lo que, para una misma presión de frenado, se puede producir una tendencia al bloqueo de las ruedas del tren trasero.

La función EBV es la encargada de controlar la distribución del frenado entre el eje delantero y el eje trasero. Se activa cuando la unidad de mando detecta que se ha accionado el pedal del freno y que las ruedas del tren trasero tienden a bloquearse. Por tanto, si durante la fase de frenado aparece la tendencia al bloqueo de alguna de las ruedas traseras por deslizamiento, la unidad de mando del ESP mantendrá o reducirá la presión de frenado en esta rueda hasta que desaparezca el deslizamiento.

Los vehículos que poseen la función EBV no necesitan reductor de presión dependiente de la carga.

Siglas

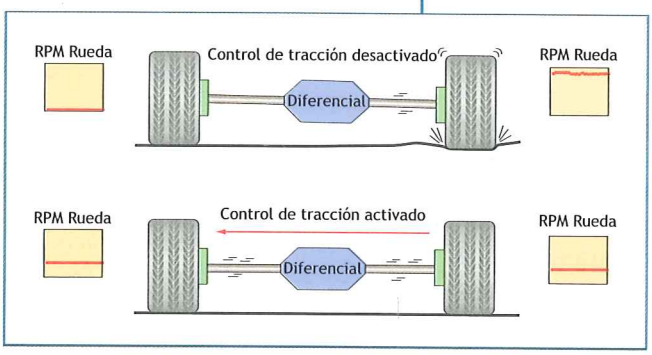
Las siglas de los sistemas y funciones de control de frenado y estabilidad provienen de términos alemanes, ya que estos fueron desarrollados por la empresa alemana Bosch:

- **ABS:** *Ant-Blockier-System.*
- **ESP:** *Elektronisches Stabilitäts-Programm.*
- **ASR:** *Antriebs-Schlupf-Regelung.*
- **MSR:** *Motor-Schleppmoment-Regelung.*
- **BAS:** *Bremsassistent.*
- **EBV:** *Elektronische-Bremskraftverteilung.*

7.2 > Función ASR

Con esta función, el sistema de frenos también se puede utilizar para mejorar la aceleración. Este sistema no se activa si una rueda tiende al bloqueo, sino cuando una rueda motriz gira en vacío y el vehículo está acelerando, por lo tanto es indispensable que el conductor esté pisando el pedal del acelerador para que el sistema de frenos se active. En esta situación el sistema ASR interviene en dos ocasiones:

- En primer lugar el ASR, de modo autónomo, produce el frenado de la rueda motriz que está girando en vacío. A consecuencia de esto inmediatamente se transfiere más par motriz a la rueda opuesta que no está derrapando, lo que provoca que esta proporcione más aceleración al vehículo. El control ejercido por el sistema de frenos se efectúa hasta que la rueda que gira en vacío recupera la adherencia. Esta primera fase, por lo general, permanece activa hasta los 40 km/h. A partir de esta velocidad, solo se mantiene activa la función MSR.
- En segundo lugar se activa si durante la regulación anterior la rueda no frenada comienza a derrapar. Es este caso, aunque el conductor esté acelerando, se produce una intervención sobre la gestión electrónica del motor que consiste en limitar el par hasta que la rueda recupere la adherencia.



14.52. Funcionamiento del sistema ASR.

El funcionamiento del ASR está programado para que, si una rueda gira en vacío circulando el vehículo a baja velocidad, intervenga en primer lugar el circuito de regulación de frenada y, a medida que el vehículo aumenta de velocidad, pase a primer plano la regulación sobre la gestión del motor.

En caso de que coincidan a un tiempo la necesidad de regulación de las funciones ASR y ESP, tiene prioridad la primera sobre la segunda. Si se acciona el pulsador de desactivación de las funciones ASR/ESP, ambas quedan inactivas.

7.3 > Función MSR

Esta función se combina con la función ASR. El sistema MSR se activa cuando, circulando el vehículo por una calzada deslizante, el conductor levanta el pie del acelerador e inmediatamente se produce un deslizamiento en alguna de las ruedas motrices. En esta situación se transmite vía CAN bus a la unidad de mando de la gestión electrónica del motor la orden de incrementar ligeramente el par motor hasta que desaparezca el deslizamiento. Para que la función MSR se active es indispensable que el conductor no esté pisando el pedal del acelerador.

7.4 > Función BAS

Para reconocer una situación de frenado de emergencia la unidad de mando del ESP se basa en la velocidad con la que el conductor pisa el pedal del freno, indicada por el sensor de presión del líquido de frenos ubicado en la unidad hidráulica.

La función BAS se activa si se cumplen las siguientes condiciones:

- La velocidad del vehículo es superior a 10 km/h (8 km/h para el modelo ESP 8.1).
- Las luces de freno están activadas.
- La velocidad alcanzada al pisar el pedal del freno es mayor que el punto de disparo.

Funcionamiento

Cuando se activa la función BAS por un frenado de emergencia, la unidad de mando pone en funcionamiento la bomba de alta presión y de realimentación en la unidad hidráulica, con lo que se alcanza una elevada presión en el circuito hidráulico y una fuerza de frenado plena.

Cuando el conductor suelta el pedal del freno, la unidad de mando lo advierte y desconecta la bomba de alta presión.

La función BAS está totalmente integrada en la electrónica de la unidad de mando del ESP. Para generar la alta presión hidráulica se utiliza una bomba de alta presión y realimentación modificada en la unidad hidráulica del ABS/ESP. Además, para mejorar el poder de aspiración de la bomba se utilizan canalizaciones de aspiración de mayor sección y un cilindro maestro de freno adaptado para el paso del fluido.

La función BAS siempre está preparada para funcionar si el vehículo supera los 10 km/h de velocidad. Una vez activada, realiza su control hasta la velocidad de 3 km/h.

La señal del sensor de presión del líquido de frenos se recibe en la unidad de mando del ESP y esta interpreta la señal como velocidad de accionamiento del pedal del freno por parte del conductor y la registra, al igual que la velocidad del vehículo. Cuando la velocidad de accionamiento del pedal del freno es mayor que el valor predeterminado para la correspondiente velocidad del vehículo, la unidad de mando activa la bomba de alta presión y retorno en la unidad hidráulica del ESP, generando la alta presión de frenado.

7.5 > Funciones adicionales ESP

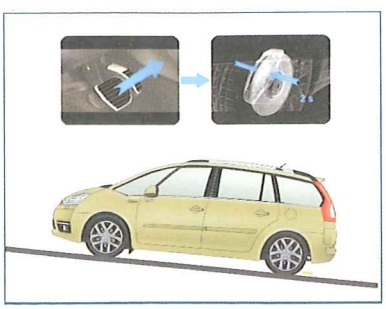
Ayuda al arranque en pendiente (AAS)

Esta función permite mantener el vehículo frenado con la presión que haya generado el conductor al pisar el pedal del freno durante un tiempo de 2 segundos inmediatamente después de que el conductor lo haya soltado.

La función AAS solamente se activa cuando el vehículo está situado en una rampa superior al 4% y se encuentra seleccionada una velocidad en la caja de cambios.

Si el conductor acciona el pedal del acelerador antes de que transcurran los 2 segundos, el freno se libera inmediatamente.

La función AAS también se activa en caso de que el vehículo se encuentre en una pendiente superior al 4% y el conductor haya seleccionado la marcha atrás.

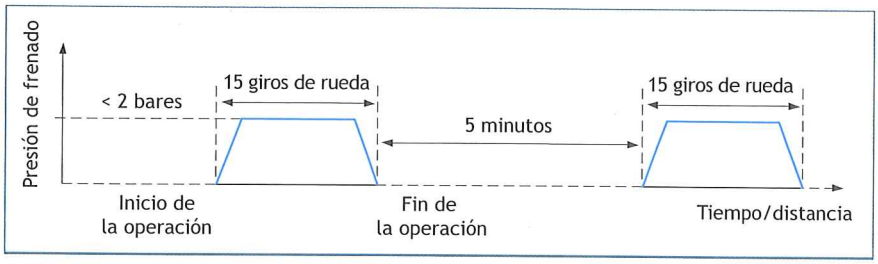


14.53. Activación de la función de ayuda al arranque en rampa/pendiente.

Función de limpieza de los discos de freno

Debido a las inclemencias del tiempo (lluvia intensa, humedad en la calzada...) puede llegar a formarse una película de agua sobre la superficie de los discos de freno. Esta película podría reducir temporalmente el coeficiente de fricción de las pastillas de freno y el disco durante el proceso de frenado, hasta que desaparezca por efecto del calor generado en la frenada.

Esta función realiza, cada 5 minutos, una ligera aproximación de las pastillas de freno a la superficie del disco durante 15 giros de la rueda con el fin de eliminar la película de agua y así aumentar la eficacia del frenado. La unidad de mando conecta de forma cíclica la bomba hidráulica, provocando así una baja presión de frenado (de menos de 2 bares). El conductor, por su parte, no percibe la actuación de las pastillas de freno.



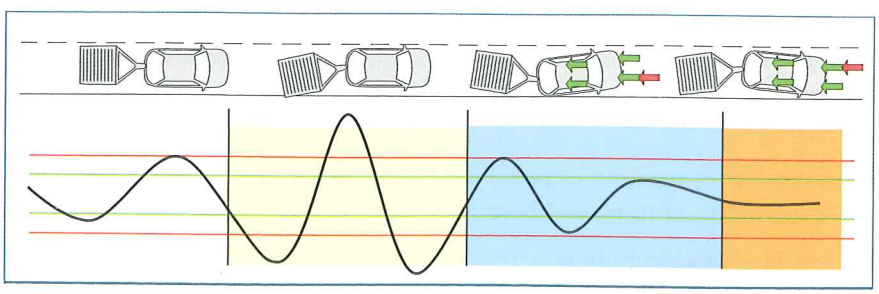
14.54. Gráfica de funcionamiento del ABS/ESP TRW EBC 440.

Asistente para la estabilidad del remolque (TSA)

El sistema TSA reconoce y reduce las oscilaciones del vehículo y su remolque. Para ello, utiliza los mismos sensores que el ESP.

Los movimientos laterales producidos por la inestabilidad de la marcha del remolque son transmitidos al vehículo, el cual, en consecuencia, comienza a desestabilizarse.

El sensor de aceleración transversal DRS del vehículo mide la velocidad de rotación sobre el eje vertical resultante de las oscilaciones. En una primera fase, el sistema TSA activa el sistema de frenos para contrarrestar el efecto y genera una fuerza de frenado sobre los discos de freno correspondientes del eje delantero para poder estabilizar el vehículo. Si el vehículo no se estabiliza y supera los valores reflejados en la curva característica de la unidad de mando, se activa una segunda fase en la que puede ocurrir que se frenen las cuatro ruedas y se reduzca el par motor. En esta segunda fase se activan las luces de freno.



14.55. Gráfica de funcionamiento del asistente para la estabilidad del remolque.

8 >> Mantenimiento del sistema ABS/ESP

8.1 > Medidas de seguridad al trabajar con sistemas electrónicos

A la hora de trabajar con sistemas electrónicos se deben cumplir las siguientes medidas de seguridad:

- No desconectar ni conectar la unidad de mando (UCE) ni ningún otro componente del sistema con el conmutador de encendido y arranque en posición de contacto.
- No exponer a la unidad de mando ni a los componentes de los sistemas electrónicos a temperaturas superiores a 80 °C.
- No realizar procesos de soldadura eléctrica estando conectada la batería del vehículo y/o las unidades de mando.
- Verificar el correcto estado y contacto de todas las conexiones eléctricas donde se va a trabajar.
- Evitar el paso paralelo de cableado que conduzca señales variables en frecuencia o la instalación de antenas de radiofrecuencia muy próximas a otros conductores del sistema.
- No provocar cortocircuitos entre el cableado o con la masa.
- Al realizar mediciones con un multímetro o polímetro, se debe tener en cuenta la unidad de medida (V, Ω o A) que se va a usar, además de utilizar la escala más adecuada.
- Al realizar medidas de resistencia o continuidad, asegurarse de que el circuito que se va a medir no está sometido a tensión alguna.
- Al llevar a cabo mediciones de resistencia o continuidad, desconectar la unidad de mando y aislar de la instalación el componente que se vaya a medir.
- En el proceso de comprobación y reparación de los sistemas ABS/ESP, no sustituir los componentes por otros de diferente referencia, aunque aparentemente sean iguales, ya que podrían generar averías en la unidad de mando.

8.2 > Testigos de avería y pulsador para la diagnosis de averías en el sistema ABS/ESP

Los vehículos con sistema ABS/ESP disponen en el cuadro de instrumentos de los correspondientes testigos de aviso para informar al conductor de alguna incidencia.

Si ocurre un fallo durante la intervención de las funciones del sistema ABS/ESP, este sistema procura concluir su funcionamiento y, una vez finalizada la intervención, se desactiva el sistema parcial que se ha visto afectado y se ilumina el testigo o los testigos de aviso correspondientes. Además la anomalía ocurrida queda registrada en la memoria de averías de la unidad de mando.

Dependiendo del sistema ABS/ESP y del vehículo de los que se trate, se pueden desactivar cada una de las funciones ESP/ASR mediante el pulsador correspondiente o solamente la función ASR, también con su correspondiente pulsador.

Testigos de aviso del sistema ABS/ESP en el cuadro de instrumentos y pulsador de función

Testigo/ pulsador	Descripción
	Sistema de frenos
	ABS
	ASR/ESP
	ESP (nuevo)
	Pulsador ASR

Técnica

Señalización del funcionamiento y las averías para la diagnosis del sistema ABS/ESP

1. Localizamos los testigos de señalización ABS/ESP en el cuadro de instrumentos del vehículo.
2. La función de dichos testigos de señalización es la siguiente (VW Golf):

Símbolo	Testigo luminoso	Texto de aviso o advertencia
	Sistema antibloqueo de frenos (ABS)	ABS
	Indicador de desgaste acusado de las pastillas de freno	Comprobar pastillas de freno 1 x zumbador de aviso
	Falta de líquido de frenos (parpadea)	Stop - Líquido de frenos Manual de instrucciones 3 x zumbador de aviso
	Distribución electrónica de la fuerza de frenado (EBV) (parpadea)	3 x zumbador de aviso
	Freno de estacionamiento	Freno de mano aplicado 1x zumbador de aviso
	Estabilización electrónica (ESP), regulación antideslizamiento de la tracción (ASR)	

3. Los procesos de señalización de los testigos ABS/ESP son los siguientes (Audi A2, pueden variar):

Estado del sistema	Testigos luminosos			Pulsador ASR
	Freno	ABS	ESP	
Encendido conectado Ciclo de autocomprobación durante aprox. 2 s				
Sistema correcto				
Intervención del sistema ASR/ESP			 parpadea	
Intervención del sistema ESP ASR desactivado a través del pulsador			 parpadea	 accionado
ASR desactivado a través del pulsador ABS y ESP se mantienen activos (por el momento sin intervención del ESP)				 accionado
Avería en el sistema ESP				
Avería en el sistema ESP Pulsador ASR activado, es decir, el testigo ESP ya estaba encendido				 accionado
Avería en el sistema ABS/ESP La función EBV de emergencia se mantiene activa				
Avería en la función EBV Todos los sistemas se desconectan				

8.3 > Autodiagnosis del sistema ABS/ESP

La unidad de mando del ABS/ESP dispone de una función de autodiagnóstico que permite comprobar las señales recibidas de los sensores y las señales de activación de los actuadores, así como el funcionamiento interno.

La consulta del autodiagnóstico se puede realizar con el uso de un equipo de diagnosis a través de la conexión OBD del vehículo.

En algunos casos (ABS/ESP Mark 20), para acceder al diagnóstico es necesario cumplir ciertos requisitos previos:

- La velocidad de las ruedas debe ser inferior a 10 km/h.
- No deben estar activadas las funciones ABS o EBV.
- La tensión de la batería del vehículo debe ser superior a 9 V.

El acceso a la función de autodiagnosis y a los parámetros de lectura dependerá del equipo de diagnosis utilizado.

Consultar la memoria de averías

La unidad de mando para la autodiagnosis dispone de una memoria donde se van almacenando las distintas averías (esporádicas o permanentes) que se producen en el sistema.

Las averías esporádicas que se almacenan en la memoria se borran automáticamente en función del siguiente proceso:

- Al producirse un fallo en el sistema, la unidad de mando marca en un contador interno el valor 50 si se trata de la avería de un componente y el valor 15 si se trata de una avería del CAN bus.
- Si el fallo detectado no vuelve a repetirse, el contador de la unidad de mando reduce el valor una unidad cada vez que se arranque el vehículo y al superar los 20 km/h.
- Cuando el contador llega a cero, todos los fallos se borran.

Los componentes cuyas averías son detectadas y registradas en la memoria de averías son los siguientes:

- Pulsador para ASR/ESP.
- Sensores de velocidad de giro de rueda.
- Sensor combinado.
- Sensor de presión del líquido de frenos.
- Sensor de ángulo del volante de dirección.
- Electrobomba hidráulica.
- Unidad electrohidráulica.

Las unidades de mando utilizan un código decimal de cuatro dígitos en el que se codifica la información relativa al tipo de motor, de caja de cambios, de frenos y de tracción.

Además de la codificación de las averías, las unidades de mando disponen de las siguientes funciones (ABS/ESP Bosch 8.0):

- Calibrado del sensor de ángulo del volante de dirección.
- Calibrado del sensor combinado.
- Lectura de los bloques de medición.
- Diagnóstico de actuadores.

Funciones de autodiagnóstico ABS/ESP Mark 20 con equipo de diagnosis VAS 5051

N.º	Función
01	Versión de la unidad de control
02	Consultar memoria de averías
03	Diagnóstico de elementos actuadores
04	Iniciar ajuste básico
05	Borrar memoria de averías
06	Finalizar emisión
07	Codificar la unidad de control
08	Leer bloque de valores de medición
09	Leer valor inicial de medición
10	Adaptación
11	Procedimiento de acceso

Actividades finales

.: CONSOLIDACIÓN :.

1·· Describe la función y los componentes del sistema antibloqueo de frenos ABS.

2·· ¿En qué consiste el principio de funcionamiento de los sensores activos de rueda de tipo magnetorresistivo?

3·· Describe el principio de funcionamiento y las conexiones de un sensor activo de rueda de tipo Hall.

4·· ¿Qué tipos de señales se utilizan para codificar las señales complementarias en el sensor activo de tipo Hall? Dibuja un ejemplo de señal complementaria.

5·· Explica en qué consiste la fase de mantenimiento de la presión de un sistema ABS con dos electroválvulas 2/2 vías.

6·· ¿Cuál es la función del programa electrónico de estabilidad ESP y de qué elementos está compuesto?

7·· Explica el proceso de regulación del ESP que tiene lugar ante un comportamiento de sobreviraje en el vehículo.

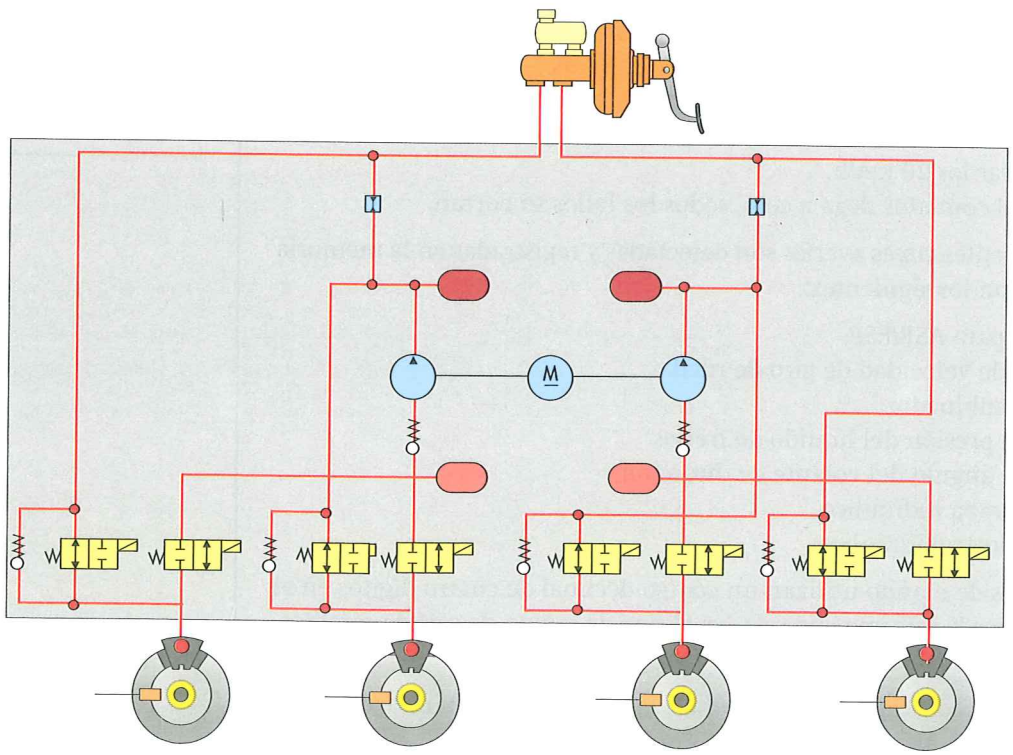
8·· ¿Cómo funciona un sensor de presión del líquido de frenos?

9·· Explica las fases de intervención de la función ASR.

10·· Explica el funcionamiento de la función EBV.

.: APLICACIÓN :.

1·· Señala los componentes del sistema hidráulico del ABS de la siguiente figura:



2·· Con la ayuda de un multímetro, comprueba las intensidades de salida de un sensor activo de rueda de tipo magnetorresistivo de un vehículo y dibuja la gráfica correspondiente.

Caso final

Comprobaciones de los componentes de un sistema ABS/ESP

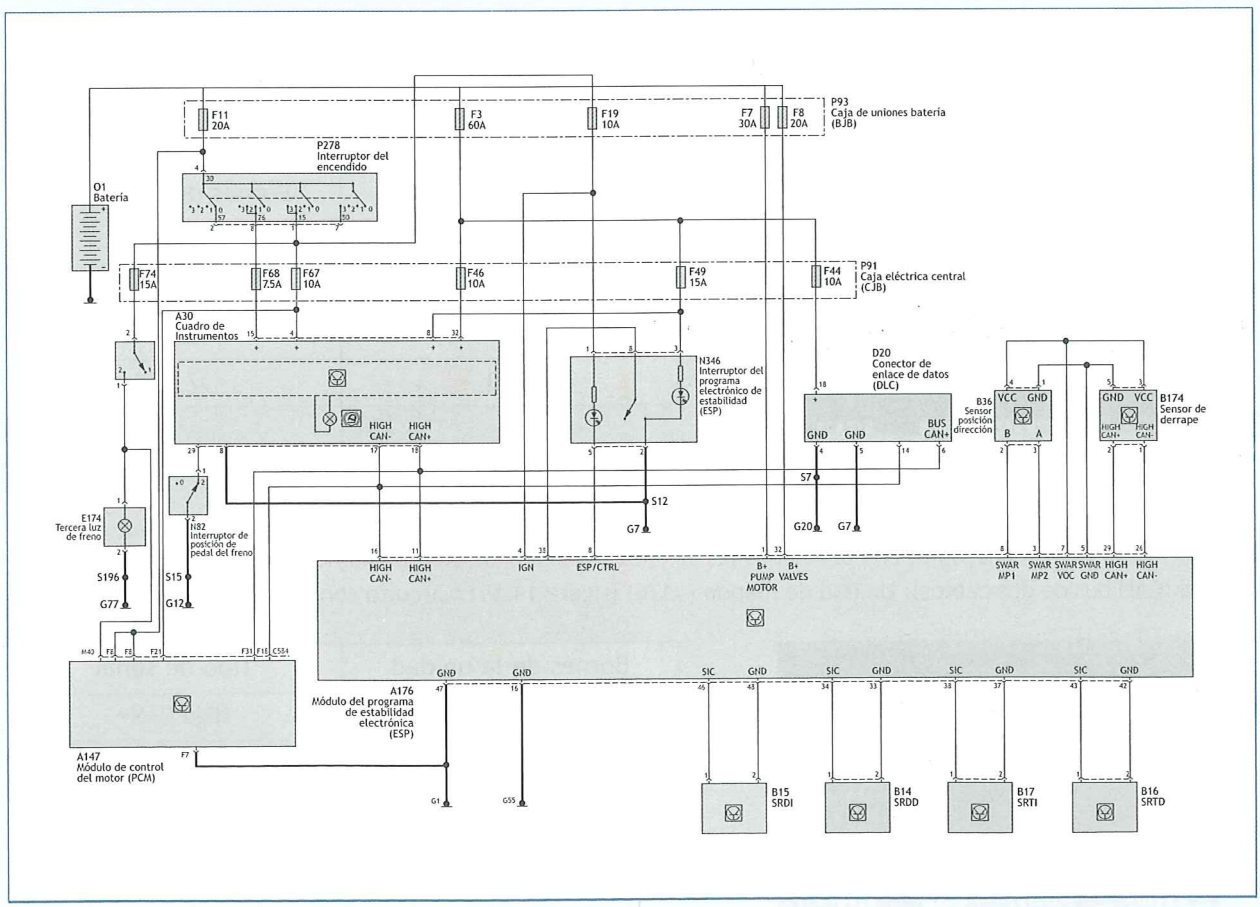
•• Comprueba las alimentaciones y las señales de los componentes de un ABS/ESP Mark 60.

Solución •• Para realizar el proceso necesitaremos el siguiente material:

- Multímetro digital.
- Osciloscopio.
- Caja de bornes (bornera) con puente paralelo de 47 vías (pines).
- Esquema del circuito (figura 14.56).

Además, deberemos tener en cuenta las siguientes precauciones:

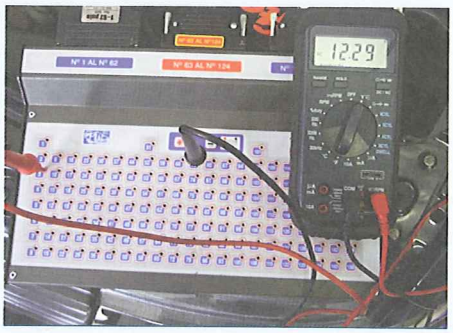
- Las comprobaciones con los aparatos de medida se realizarán solamente en la caja de bornes.
- Hay que preparar el multímetro en la escala adecuada y realizar la conexión correcta de sus puntas de prueba, siempre en paralelo para comprobar tensiones.
- Antes de la desconexión y conexión de la unidad de mando es necesario, durante el proceso, extraer el terminal negativo de la batería o consultar las indicaciones del fabricante.



14.56. Esquema eléctrico del ABS/ESP para el Mark 60.

Para realizar las comprobaciones seguimos los siguientes pasos:

1. Localizamos el conjunto formado por la unidad hidráulica y la unidad de mando del ABS/ESP en el vehículo y conectamos, mediante el cableado paralelo, la caja de bornes a la unidad de mando. El circuito no tiene tensión.
2. Con la ayuda del multímetro y del esquema, comprobamos las tensiones de alimentación de la unidad de mando del ABS/ESP (A176) (figura 14.57). El circuito tiene una tensión de +15.

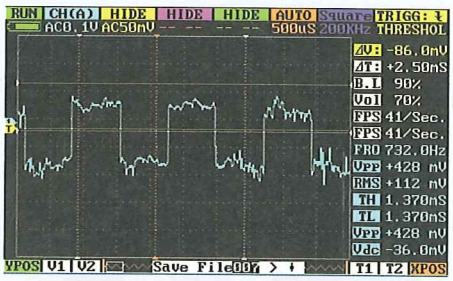


14.57. Caja de bornes.

Bornes de la unidad	Tipo de señal	Valor obtenido
Pin 1 y 31	+30	12 V aprox.
Pin 32 y 31	+30	12 V aprox.
Pin 4 y 31	+15	12 V aprox.
Pin 47 y +30	Polaridad neg.	12 V aprox.
Pin 16 y +30	Polaridad neg.	12 V aprox.

+30 Directo de batería
+15 Conmutador de encendido
31 Masa vehículo

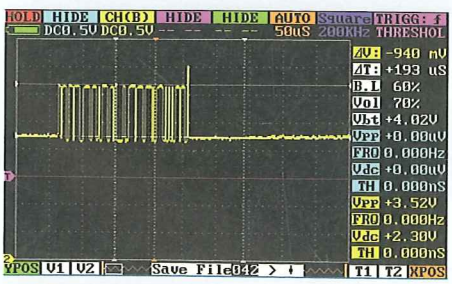
3. Con ayuda del osciloscopio, comprobamos la señal de los sensores activos de velocidad de rueda. El osciloscopio ha de estar en posición AC y la escala en 100 mV/500 µs (figura 14.58). Debemos levantar el vehículo para girar las ruedas. Circuito con tensión de +15.



14.58. Señal de un sensor de velocidad de rueda (magnetorresistivo).

Sensor de rueda	Bornes de la unidad
SRDD	33 y 34
SRDI	46 y 48
SRTD	42 y 43
SRTI	37 y 38

4. Con ayuda del osciloscopio, comprobamos las señales multiplexadas de comunicación entre las unidades de mando (CAN bus de dos cables). Unidad de mando (A176) (figura 14.59). Circuito con tensión de +15 (High CAN+).

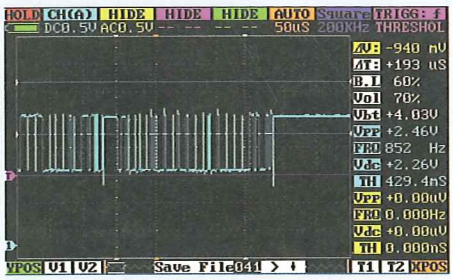


14.59. Señal High CAN+.

Bornes de la unidad	Tipo de señal
Pin 11 y 31	High CAN+

Rango de tensión de High CAN+:
- Voltaje máximo: 3,6 V
- Voltaje mínimo: 2,2 V

5. Comprobamos, con ayuda del osciloscopio, la señal multiplexada de comunicación entre las unidades de mando. Unidad de mando (A176) (figura 14.60). Circuito con tensión de +15 (High CAN-).

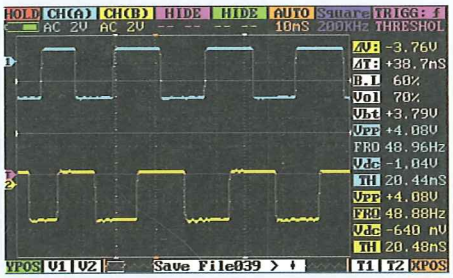


14.60. Señal High CAN-.

Bornes de la unidad	Tipo de señal
Pin 16 y 31	High CAN-

Rango de tensión de High CAN-:
- Voltaje máximo: 2,4 V.
- Voltaje mínimo: 1 V.

6. Comprobamos, con ayuda del multímetro y el osciloscopio, la tensión de alimentación y la señal de salida del sensor de posición de dirección (B36). Unidad de mando (A176) (figura 14.61). Circuito con tensión de +15.

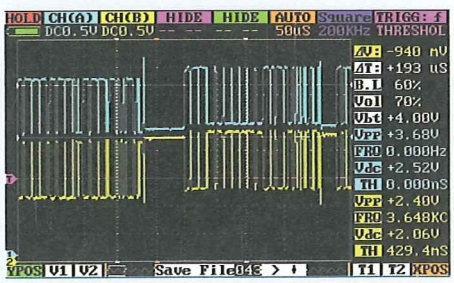


14.61. Señales del sensor de posición de dirección.

Bornes de la unidad	Tipo de señal	Valor
Pin 7 y 31	+15	11,5 V
Pin 5 y +30	P. negativa	11,5 V
Pin 8 y 31	Cuadrada*	0 a 4 V
Pin 3 y 31	Cuadrada*	0 a 4 V

*Medidas que se realizan con el osciloscopio, moviendo el volante de izquierda a derecha y al revés.

7. Comprobamos, con ayuda del osciloscopio, las señales multiplexadas de comunicación con la unidad de mando (A176) del sensor de derrape (B174) (figura 14.62). Circuito con tensión de +15.



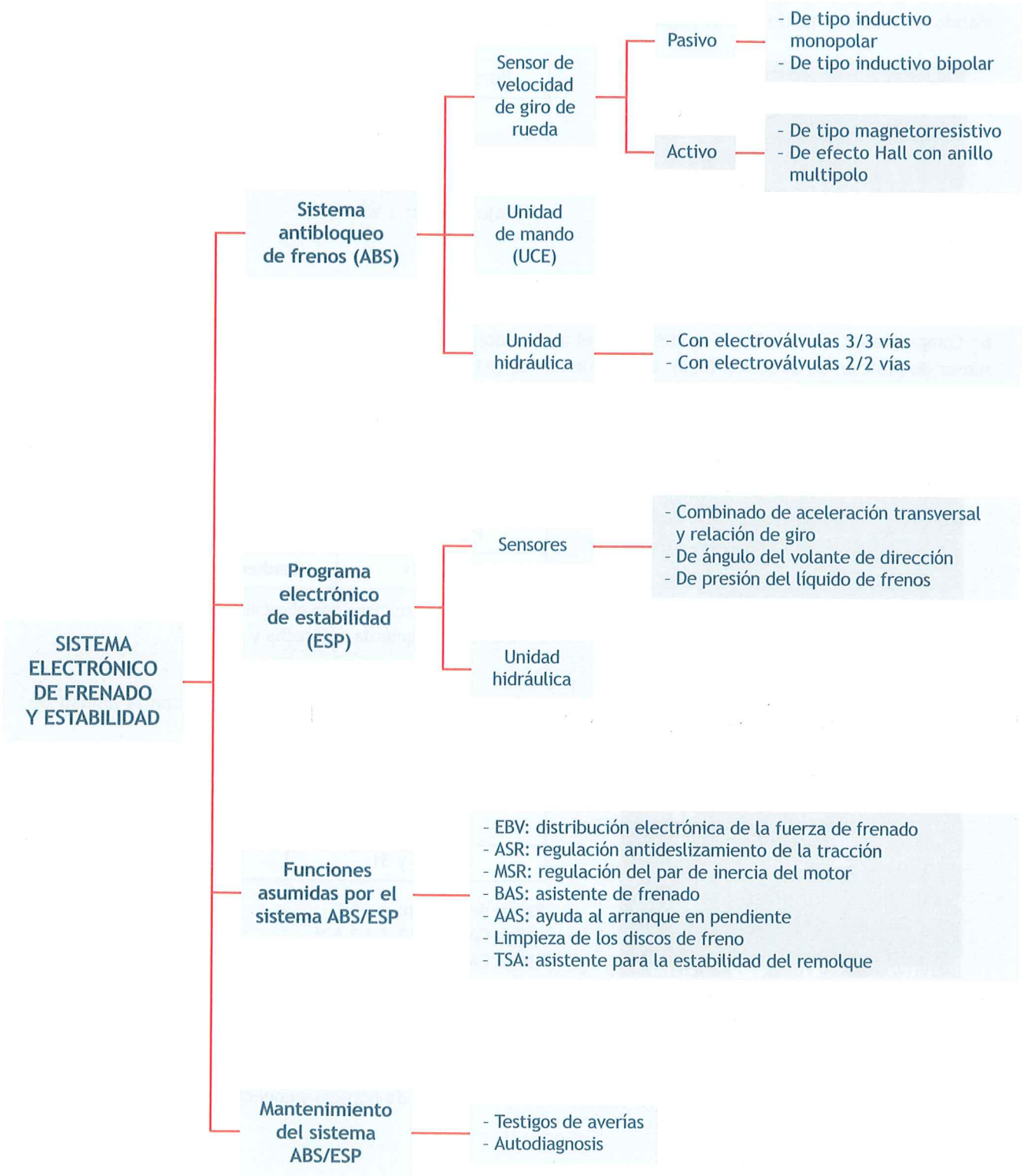
14.62. Señales del sensor de derrape: señal azul (High CAN+) y señal amarilla (High CAN-).

Bornes de la unidad	Tipo de señal
Pin 29 y 31	High CAN+
Pin 26 y 31	High CAN-

Rango de tensión:
- High CAN+: de 2,2 a 3,6 V.
- High CAN-: de 0,9 a 2,4 V.

Una vez finalizadas las comprobaciones, quitamos el contacto +15 y extraemos el borne negativo de la batería. Retiramos las conexiones establecidas (puente paralelo y caja de bornes) y conectamos la unidad de mando (A176).

Ideas clave

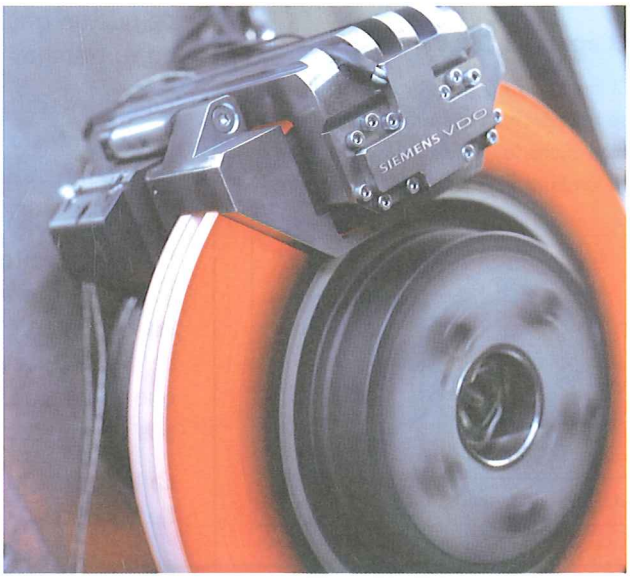

SISTEMA ELECTRÓNICO DE FRENADO Y ESTABILIDAD
Sistema antibloqueo de frenos (ABS)
Sensor de velocidad de giro de rueda
Pasivo
- De tipo inductivo monopolar
- De tipo inductivo bipolar
Activo
- De tipo magnetorresistivo
- De efecto Hall con anillo multipolo
Unidad de mando (UCE)
Unidad hidráulica
- Con electroválvulas 3/3 vías
- Con electroválvulas 2/2 vías
Programa electrónico de estabilidad (ESP)
Sensores
- Combinado de aceleración transversal y relación de giro
- De ángulo del volante de dirección
- De presión del líquido de frenos
Unidad hidráulica
Funciones asumidas por el sistema ABS/ESP
- EBV: distribución electrónica de la fuerza de frenado
- ASR: regulación antideslizamiento de la tracción
- MSR: regulación del par de inercia del motor
- BAS: asistente de frenado
- AAS: ayuda al arranque en pendiente
- Limpieza de los discos de freno
- TSA: asistente para la estabilidad del remolque
Mantenimiento del sistema ABS/ESP
- Testigos de averías
- Autodiagnosis

SISTEMA DE FRENADO ELECTRÓNICO DE CUÑA (EWB) DE SIEMENS VDO

El funcionamiento del freno electrónico EWB se basa en un principio similar al de los frenos de los carruajes de tracción animal, en los que se empleaba una cuña para detener la rueda. Sin embargo, el EWB utiliza además una sofisticada tecnología de sensores y se sirve de la electrónica para evitar que los frenos se bloqueen y, así, garantizar un frenado eficiente y controlado. Esta cuña utiliza la energía cinética del vehículo transformándola en energía de frenado.

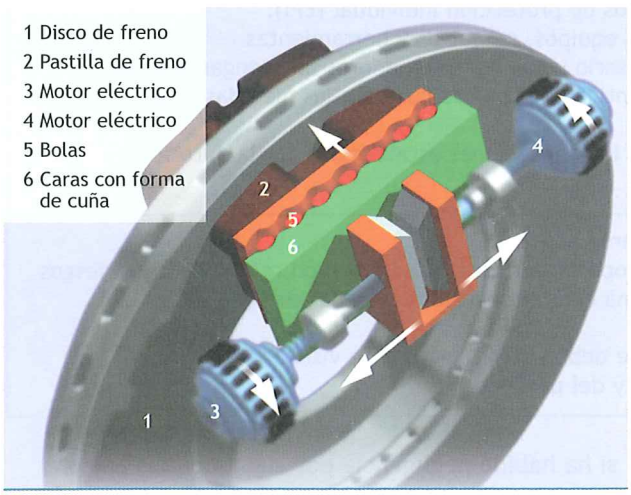
De esta manera, el EWB se refuerza a sí mismo y solo necesita una décima parte de la energía impulsora que requieren los sistemas de frenado hidráulico actuales. Dado su mayor rendimiento, sus dimensiones son menores, al igual que el peso total del vehículo, y puede prescindir de las tuberías de freno, del servofreno y del depósito de líquido de frenos. Esto libera un volumen de cerca de 22 litros en el compartimento del motor y da mayor libertad a los diseñadores del vehículo.

Es más, el software integrado en el sistema EWB llegará a reemplazar los sistemas de frenado antibloqueo (ABS) y los programas de estabilidad electrónicos menos comunes, pues se propone lograr un nuevo algoritmo que reúna estas funciones y que permita que la reacción del EWB sea más rápida que la de los sistemas ABS. De hecho, mientras que el ABS convencional tarda entre 140 y 170 milisegundos en generar la máxima potencia de frenado, el EWB necesita tan solo 100 milisegundos aproximadamente, reduciendo así la distancia de frenado. Esto significa que el freno en forma de cuña desempeñará un papel importante, pues hará posible que los conductores controlen el vehículo en situaciones difíciles.

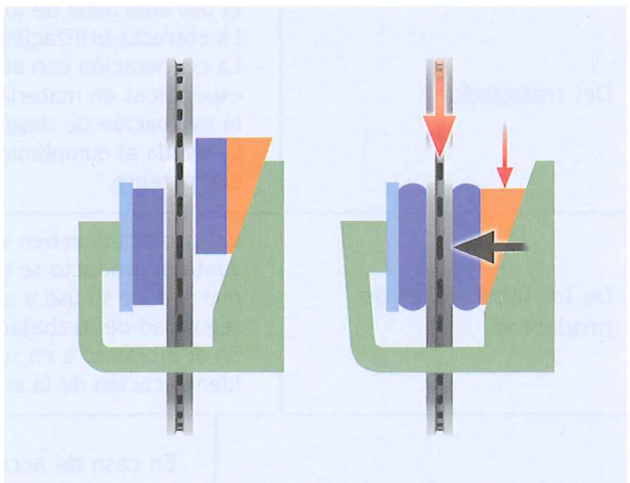


Fernando Álvarez

Fuente: www.motorfull.com



14.63. Componentes del sistema de frenado electrónico de cuña (EWB).

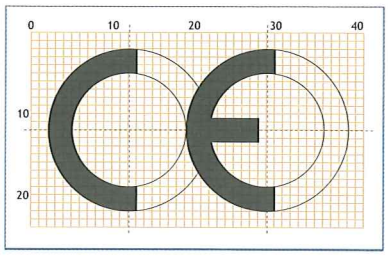


14.64. Funcionamiento del sistema de frenado electrónico de cuña (EWB).

Apéndice: Prevención de riesgos laborales

El marcado CE

El marcado CE (Conformidad Europea) se introduce en los productos que cumplen todos los requisitos que impone la Unión Europea a los fabricantes.



Logotipo de la marca CE.

Riesgo laboral y prevención

Se llama riesgo laboral a cualquier situación en la que exista la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado de la realización de su trabajo.

Cualquier trabajo lleva asociados una serie de riesgos que pueden dar lugar a accidentes o a deteriorar la salud del trabajador. Para intentar evitar o disminuir estos riesgos se deben tomar una serie de medidas conocidas como prevención de riesgos.

Por tanto, antes de iniciar una actividad laboral deben analizarse los riesgos asociados a ella y ser eliminados, en la medida de lo posible, mediante las técnicas de prevención adecuadas. Si la naturaleza del riesgo no permite que este sea eliminado, el trabajador ha de estar protegido de los daños que se puedan dar mediante, generalmente, medidas de protección y equipos de protección individual (EPI).

La legislación estatal indica cuáles son las obligaciones básicas de cada una de las partes implicadas en la seguridad laboral.

Obligaciones y deberes básicos en materia de prevención de riesgos	
De las administraciones públicas	- La promoción de la prevención. - La vigilancia y el control del cumplimiento de la ley. - El asesoramiento técnico.
Del empresario	- La programación de la formación e información de los trabajadores en materia de prevención. - La dotación del centro de trabajo de todas las condiciones de seguridad. - La vigilancia de la salud laboral. - La correcta señalización de las instalaciones. - El mantenimiento periódico de las instalaciones y equipos.
Del trabajador	- El uso adecuado de los equipos de protección individual (EPI). - La correcta utilización de los equipos, máquinas y herramientas. - La cooperación con el empresario y con los trabajadores que tengan funciones específicas en materia preventiva para que se cumplan las medidas establecidas en la evaluación de riesgos. - La ayuda al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente.
De los fabricantes de productos	- Los productos deben ser seguros. - Junto al producto se debe proporcionar toda la información referente a los riesgos que supone su uso y a la forma en que debe ser utilizado para garantizar la seguridad del trabajador. - En el producto o en su envase deben estar claramente visibles los datos de identificación de la empresa y del producto.

En caso de accidente, si ha habido negligencia por alguna de las partes implicadas, el responsable deberá responder de ello ante los organismos competentes. Aunque siempre, lo más importante es prevenir.

Riesgos en el taller de electromecánica

El trabajo en el taller de electromecánica conlleva unos riesgos específicos que se describen en la siguiente tabla:

Riesgos en el taller de electromecánica	
Riesgo	Situaciones donde se producen
Ruido	- Uso de herramientas y equipos de accionamiento eléctrico o neumático.
Proyecciones en los ojos	- Realización de trabajos de limpieza. - Desmontaje y montaje de piezas en los que se proyectan virutas, líquidos, etc. - Vaciado de los depósitos de combustible.
Sobreesfuerzos	- Manipulación de elementos de gran peso como las cajas de cambios. - Adopción de posturas forzadas.
Inhalación de productos tóxicos	- Uso de productos tóxicos como gasolina, aceites, etc. - La generación de humos de escape de los vehículos en funcionamiento.
Quemaduras	- Manipulación de las partes del vehículo sometidas a elevadas temperaturas. - Contacto de la piel con el ácido de las baterías y con el gas refrigerante del circuito del aire acondicionado.
Contacto con sustancias nocivas	- Contacto accidental de la piel con productos como el líquido de frenos, anticongelantes, aceites, etc.
Incendios	- Uso de productos de alta combustibilidad e inflamabilidad como la gasolina o el gas refrigerante. - Inflamación de los gases de las baterías al cargarlas.
Cortes y golpes	- Manipulación de piezas cortantes. - Uso incorrecto de las herramientas de trabajo. - Uso de herramientas defectuosas, inadecuadas o utilizadas incorrectamente. - Manipulación incorrecta de las piezas y caída de las mismas.
Electrocutación	- Manipulación de los sistemas de encendido, cableado, conexiones, etc.
Caídas	- Existencia de aceites y sustancias deslizantes en el suelo sin usar calzado con suela antideslizante.
Atrapamientos	- Durante las operaciones de montaje. - Falta de atención durante el funcionamiento de elementos móviles del vehículo como las transmisiones o la caja de cambios. - Durante la utilización de máquinas o herramientas.

Medidas generales de prevención

Las medidas básicas de prevención de riesgos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar cualquier trabajo son las siguientes:

- Antes de empezar, localizar los elementos de emergencia (botiquines, extintores, pulsadores de incendio, etc.) y las salidas de emergencia.
- Aprenderse los códigos básicos de seguridad y los teléfonos de emergencia.
- Estar siempre concentrado en lo que se está haciendo.
- Mantener la zona de trabajo limpia y ordenada para evitar caídas de objetos, tropiezos, resbalones, etc., y riesgos para la salud como infecciones, irritaciones, etc.
- Mantener las herramientas de trabajo siempre limpias.
- No adoptar posturas forzadas mientras se realiza el trabajo.
- Utilizar los tiempos de descanso para descansar y, así, reincorporarse descansado al trabajo.
- No introducir los dedos en los ojos, la nariz ni la boca, ya que esto podría provocar infecciones e irritaciones.
- No comer ni beber en la zona de trabajo, no solo para mantener la zona más limpia, sino para evitar que se contamine la comida.
- Seguir siempre las normas de uso y conservación de las herramientas que indique el fabricante.
- Antes de utilizar alguna herramienta, comprobar siempre que se encuentra en buen estado.
- Poner el seguro en las herramientas que lo tengan, siempre que no se estén utilizando.

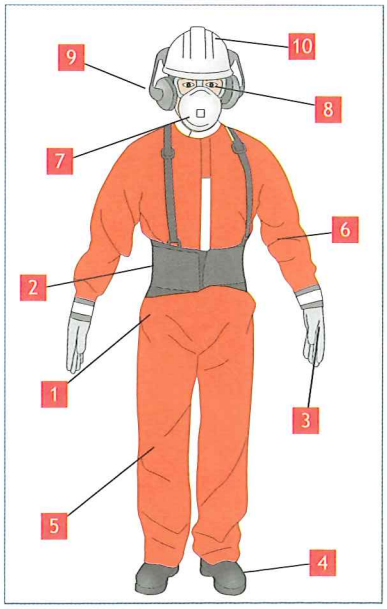
Equipos de protección individual (EPI)

Los equipos de protección individual (EPI) son los destinados a ser llevados o sujetados por el trabajador para estar protegido de los riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

Siempre se deben utilizar los EPI apropiados para la tarea que se vaya a realizar. Hay que asegurarse de que estos equipos estén homologados y que contengan el sello CE. Antes de utilizarlos hay que leer siempre las instrucciones de uso de cada uno de ellos.

Los EPI más utilizados son (figura del margen):

- Protección total del cuerpo: monos especiales (1).
- Protección del tronco y el abdomen: fajas (2).
- Protección de la piel: guantes (3).
- Protección de pies y piernas: botas (4) y rodilleras (5).
- Protección de manos y brazos: guantes (3) y coderas (6).
- Protección de las vías respiratorias: mascarillas de carbón activado (7).
- Protección de los ojos y de la cara: gafas (8) y mascarillas (7).
- Protección del oído: cascos protectores (9) y tapones de oídos.
- Protección de la cabeza: cascos (10) y gorros.



Equipos de protección individual (EPI).

Paneles de señalización en el taller

Paneles de prohibición más importantes.

Paneles de obligación más importantes.

Paneles de peligro más importantes.

Paneles de prevención de incendios más importantes.

Paneles de información más importantes.

Sistemas de Transmisión y Frenado

Este libro desarrolla de forma teórica y práctica los principales elementos que realizan la transmisión de la fuerza y el movimiento en los vehículos actuales, así como los distintos sistemas de freno.

Está formado por 14 unidades didácticas donde se explican detalladamente los distintos sistemas, además de las principales reparaciones que se realizan en ellos.

Es un libro práctico y muy completo, en el que todas las unidades están ilustradas con un gran número de fotografías y dibujos, y poseen interesantes **Técnicas, Casos prácticos y Actividades**, para consolidar y aplicar todos los conceptos y procedimientos.

ISBN 978-84-15426-38-7

9 788415 426387

MACMILLAN Profesional