

Dirección electromecánica de asistencia variable

En estos últimos años se está utilizando cada vez más este sistema de dirección, denominada dirección eléctrica. La dirección eléctrica se empezó a utilizar en vehículos pequeños (utilitarios) pero ya se está utilizando en vehículos del segmento medio, como ejemplo: la utilizada por el Renault Megane.

En este tipo de dirección se suprime todo el circuito hidráulico formado por la bomba de alta presión, depósito, válvula distribuidora y canalizaciones que formaban parte de las servodirecciones hidráulicas. Todo esto se sustituye por un motor eléctrico que acciona una reductora (corona + tornillo sinfín) que a su vez mueve la cremallera de la dirección.

Sus principales ventajas son:

- Se suprimen los componentes hidráulicos, como la bomba de aceite para servoasistencia, entubados flexibles, depósitos de aceite y filtros
- Se elimina el líquido hidráulico
- Reducción del espacio requerido, los componentes de servoasistencia van instalados y actúan directamente en la caja de la dirección.
- Menor sonoridad
- Reducción del consumo energético. A diferencia de la dirección hidráulica, que requiere un caudal volumétrico permanente, la dirección asistida electromecánica solamente consume energía cuando realmente se mueve la dirección. Con esta absorción de potencia en función de las necesidades se reduce también el consumo de combustible (aprox. 0,2 L cada 100 km)
- Se elimina el complejo entubado flexible y cableado.
- El conductor obtiene una sensación óptima al volante en cualquier situación, a través de una buena estabilidad rectilínea, una respuesta directa, pero suave al movimiento del volante y sin reacciones desagradables sobre pavimento irregular.

Como se puede ver, este sistema de dirección se simplifica y es mucho más sencillo que los utilizados hasta ahora.

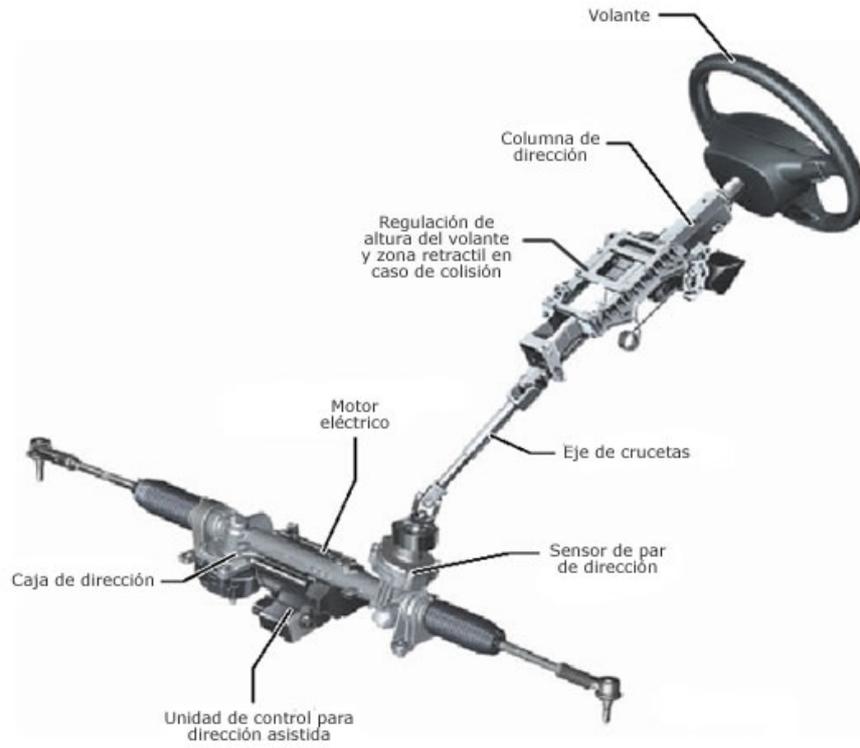
Sus inconvenientes son:

Estar limitado en su aplicación a todos los vehículos (limitación que no tiene el sistema de dirección hidráulica) ya que dependiendo del peso del vehículo y del tamaño de las ruedas, este sistema no es válido. A mayor peso del vehículo normalmente más grandes son las ruedas tanto en altura como en anchura, por lo que mayor es el esfuerzo que tiene que desarrollar el sistema de dirección, teniendo en cuenta que en las direcciones eléctricas toda la fuerza de asistencia la genera un motor eléctrico, cuanto mayor sea la asistencia a generar por la dirección, mayor tendrá que ser el tamaño del motor, por lo que mayor será la intensidad eléctrica consumida por el mismo.

Un excesivo consumo eléctrico por parte del motor eléctrico del sistema de dirección, no es factible, ya que la capacidad eléctrica del sistema de carga del vehículo está limitada. Este inconveniente es el que impide que este sistema de dirección se pueda aplicar a todos los vehículos, ya que por lo demás todo son ventajas.

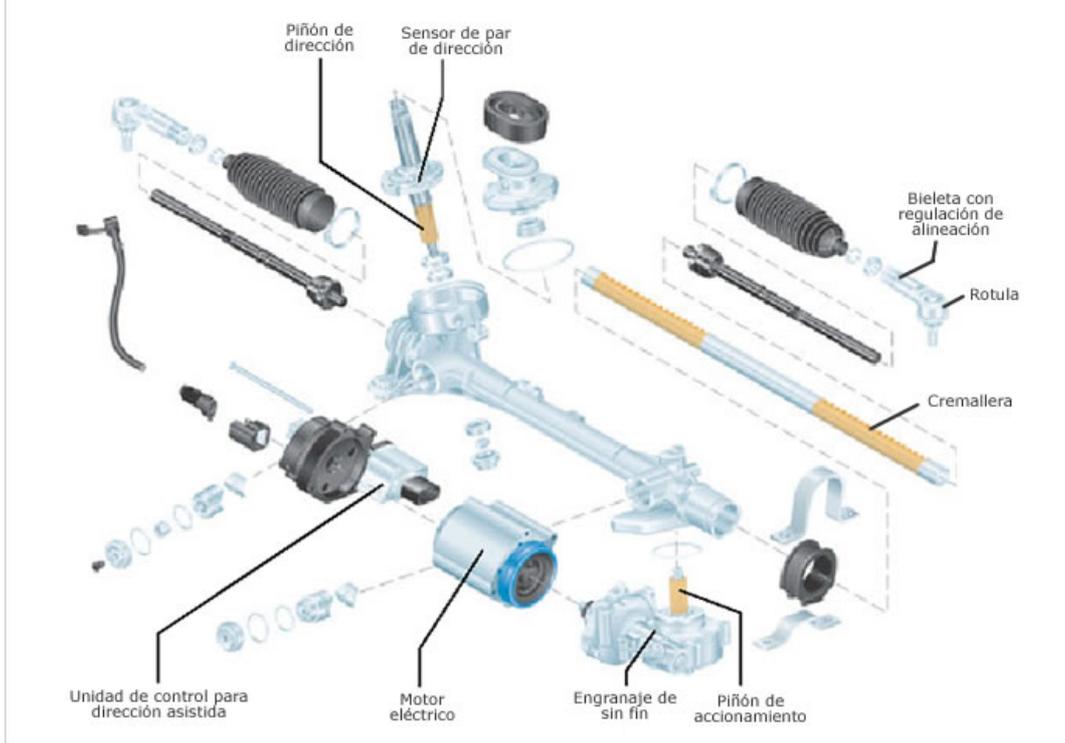
Estructura y componentes

Componentes de la dirección electromecánica



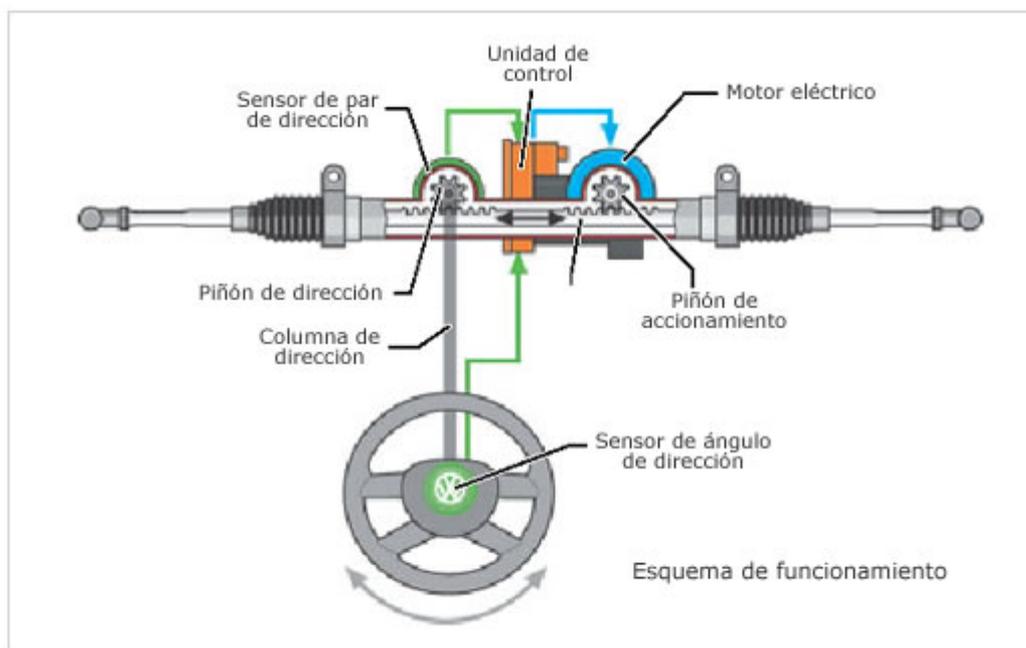
www.mecanicavirtual.org

Despiece de los componentes de una servodirección electromecánica



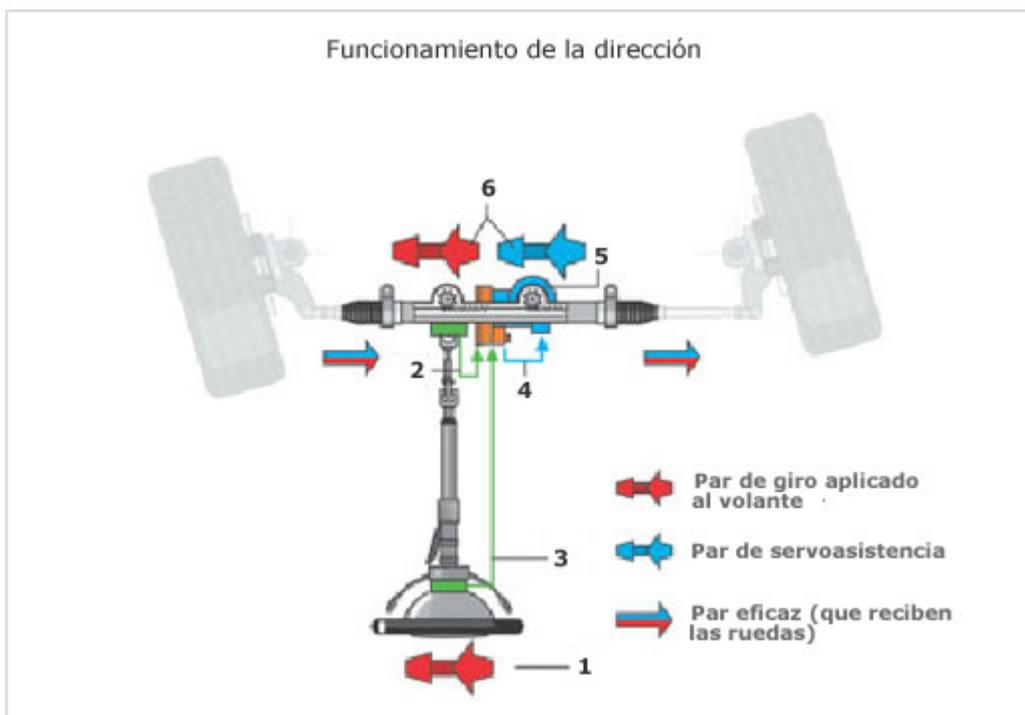
En la dirección asistida electromecánica cuenta con doble piñón. Se aplica la fuerza necesaria para el mando de la dirección a través de uno de los piñones llamado "piñón de dirección" y a través del otro piñón llamado "piñón de accionamiento". El piñón de dirección transmite los pares de dirección aplicados por el conductor y el piñón de accionamiento transmite, a través de un engranaje de sin fin, el par de servoasistencia del motor eléctrico para hacer el gobierno de la dirección más fácil.

Este motor eléctrico con unidad de control y sistema de sensores para la servoasistencia de la dirección va asociado al segundo piñón. Con esta configuración está dada una comunicación mecánica entre el volante y la cremallera. De esa forma se sigue pudiendo dirigir mecánicamente el vehículo en caso de averiarse el servomotor.



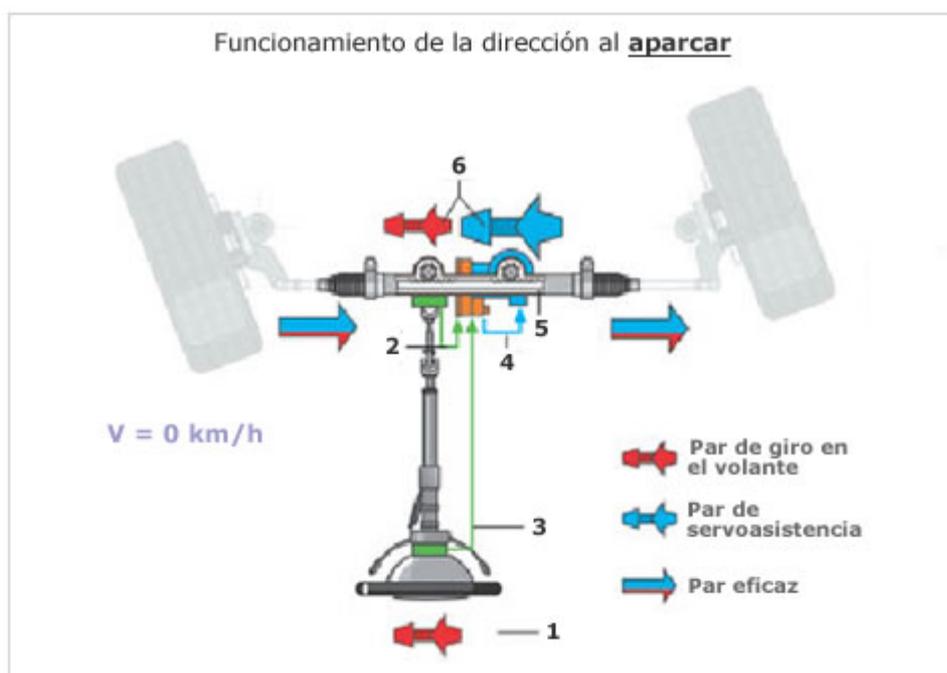
Funcionamiento

1. El ciclo de servoasistencia de dirección comienza al momento en que el conductor mueve el volante.
2. Como respuesta al par de giro del volante se tuerce una barra de torsión en la caja de dirección. El sensor de par de dirección (situado en la caja de dirección) capta la magnitud de la torsión e informa sobre el par de dirección detectado a la unidad de control de dirección asistida.
3. El sensor de ángulo de dirección, informa sobre el ángulo momentáneo y el sensor de régimen del rotor del motor eléctrico informa sobre la velocidad actual con que se mueve el volante.
4. En función del par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, el ángulo de dirección, la velocidad de mando de la dirección y las curvas características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par de servoasistencia necesario para el caso concreto y excita correspondientemente el motor eléctrico.
5. La servoasistencia a la dirección se realiza a través de un segundo piñón que actúa paralelamente sobre la cremallera. Este piñón es accionado por un motor eléctrico. El motor ataca hacia la cremallera a través de un engranaje de sin fin y un piñón de accionamiento y transmite así la fuerza de asistencia para la dirección.
6. La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y el par de servoasistencia constituye el par eficaz en la caja de dirección para el movimiento de la cremallera.



Funcionamiento de la dirección al aparcar

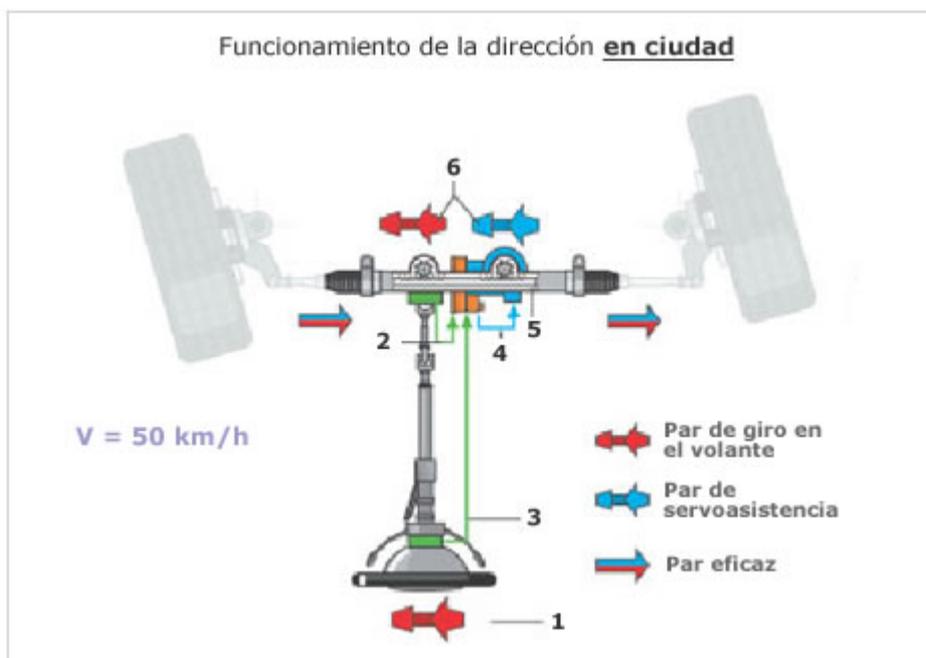
1. El conductor gira bastante el volante para poder aparcar.
2. La barra de torsión se tuerce. El sensor del par de dirección detecta la torsión e informa a la unidad de control de que se está aplicando al volante un par de dirección intenso.
3. El sensor de ángulo de dirección avisa que hay un ángulo de dirección pronunciado y el sensor de régimen del rotor informa sobre la velocidad del mando actual de la dirección.
4. Previo análisis de las magnitudes correspondientes al par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo de 0 km/h, el régimen del motor de combustión, el pronunciado ángulo de dirección, la velocidad de mando de la dirección y, en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 0$ km/h, la unidad de control determina la necesidad de aportar un intenso par de servoasistencia y excita correspondientemente el motor eléctrico.
5. En las maniobras de aparcamiento se aporta de ese modo la servoasistencia máxima para la dirección a través del segundo piñón que actúa paralelamente sobre la cremallera.
 6. La suma del par aplicado al volante y el par de servoasistencia máximo viene a ser el par eficaz en la caja de dirección para el movimiento de la cremallera en maniobras de aparcamiento.



7.

Funcionamiento de la dirección circulando en ciudad

1. El conductor mueve el volante al recorrer una curva en tráfico urbano.
2. La barra de torsión se tuerce. El sensor de par de dirección detecta la torsión y avisa a la unidad de control de que hay un par de dirección, de mediana intensidad, aplicado al volante de la dirección.
3. El sensor de ángulo de dirección avisa que hay un ángulo de dirección de mediana magnitud y el sensor de régimen del rotor informa sobre la velocidad momentánea con que se mueve el volante.
4. Previo análisis del par de dirección de mediana magnitud, la velocidad de marcha del vehículo de 50 km/h, el régimen del motor de combustión, un ángulo de dirección de mediana magnitud y la velocidad con que se mueve el volante, así como en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 50 \text{ km/h}$, la unidad de control determina la necesidad de aportar un par de servoasistencia de mediana magnitud y excita correspondientemente el motor eléctrico.
5. Al recorrer una curva se produce así una servoasistencia de mediana magnitud para la dirección a través del segundo piñón, que actúa paralelamente sobre la cremallera.
6. La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y el par de servoasistencia de mediana magnitud viene a ser el par eficaz en la caja de la dirección para el movimiento de la cremallera al recorrer una curva en el tráfico urbano.



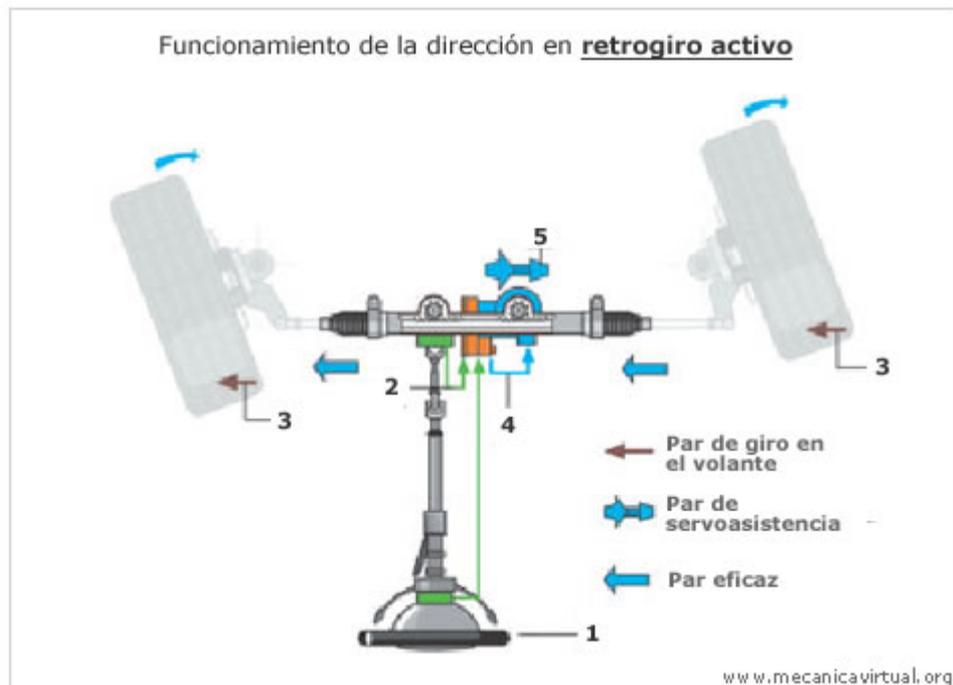
Funcionamiento de la dirección circulando en autopista

1. Al cambiar de carril, el conductor mueve el volante en pequeña magnitud.
2. La barra de torsión se tuerce. El sensor de par de dirección detecta la torsión y avisa a la unidad de control de que está aplicado un leve par de dirección al volante.
3. El sensor de ángulo de dirección avisa que está dado un pequeño ángulo de dirección y el sensor de régimen del rotor avisa sobre la velocidad momentánea con que se acciona el volante.
4. Previo análisis del par de dirección de baja magnitud, la velocidad de marcha del vehículo de 100 km/h, el régimen del motor de combustión, un pequeño ángulo de dirección y la velocidad con que se acciona el volante, y en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 100$ km/h, la unidad de control determina la necesidad de aportar ya sea un par de dirección leve o no aportar ningún par de dirección, y excita correspondientemente el motor eléctrico.
5. Al mover la dirección circulando en autopista se realiza de esta forma la servoasistencia de baja magnitud o bien no se aporta ninguna servoasistencia a través del segundo piñón que actúa paralelamente sobre la cremallera.
6. La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y un mínimo par de servoasistencia viene a ser el par eficaz para el movimiento de la cremallera en un cambio de carril.



Funcionamiento de la dirección en "retrogiro activo"

1. Si el conductor reduce el par de dirección al circular en una curva, la barra de torsión se relaja correspondientemente.
2. En combinación con el descenso del par de dirección, teniendo en cuenta el ángulo de dirección y la velocidad con que se acciona el volante, el sistema calcula una velocidad teórica para el retrogiro y la compara con la velocidad de mando de la dirección. De ahí se calcula el par de retrogiro.
3. La geometría del eje hace que se produzcan fuerzas de retrogiro en las ruedas viradas. Las fricciones en el sistema de la dirección y del eje suelen hacer que las fuerzas de retrogiro sean demasiado bajas como para poder devolver las ruedas a su posición de marcha recta.
4. Previo análisis del par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, el ángulo de dirección y la velocidad con que se gira el volante, así como en función de las curvas características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par que debe aportar el motor eléctrico para el retrogiro de la dirección.
5. El motor es excitado correspondientemente y las ruedas vuelven a la posición de marcha recta.



6.

Funcionamiento corrección de marcha recta

La corrección de marcha recta es una función que se deriva del retrogiro activo. Aquí se genera un par de servoasistencia para que el vehículo vuelva a la marcha rectilínea exenta de momentos de fuerza. El sistema distingue entre un algoritmo de corto y uno de largo plazo.

- El algoritmo de largo plazo está dedicado a compensar las discrepancias a largo plazo que surgen con respecto a la marcha rectilínea, por ejemplo debido al cambio de neumáticos de verano por neumáticos de invierno (usados).
 - El algoritmo de corto plazo corrige discrepancias de duración breve. Con ello se respalda al conductor, evitando que por ejemplo tenga que «contravolantear» continuamente al circular habiendo viento lateral constante.
1. Una fuerza lateral constante, por ejemplo la del viento lateral, actúa sobre el vehículo.
 2. El conductor tuerce un poco el volante, para mantener el vehículo en marcha recta.
 3. Analizando el par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, el ángulo de dirección, la velocidad de mando de la dirección y actuando en función de las curvas características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par que debe aportar el motor eléctrico para la corrección de la marcha recta.
 4. El motor eléctrico de la dirección es excitado correspondientemente. El vehículo adopta la trayectoria de marcha recta. El conductor ya no tiene que dar «contravolante».

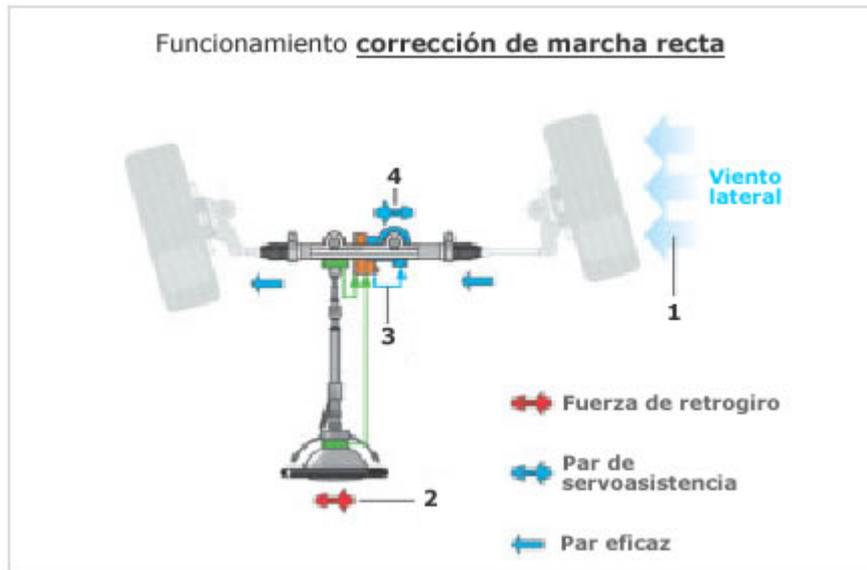
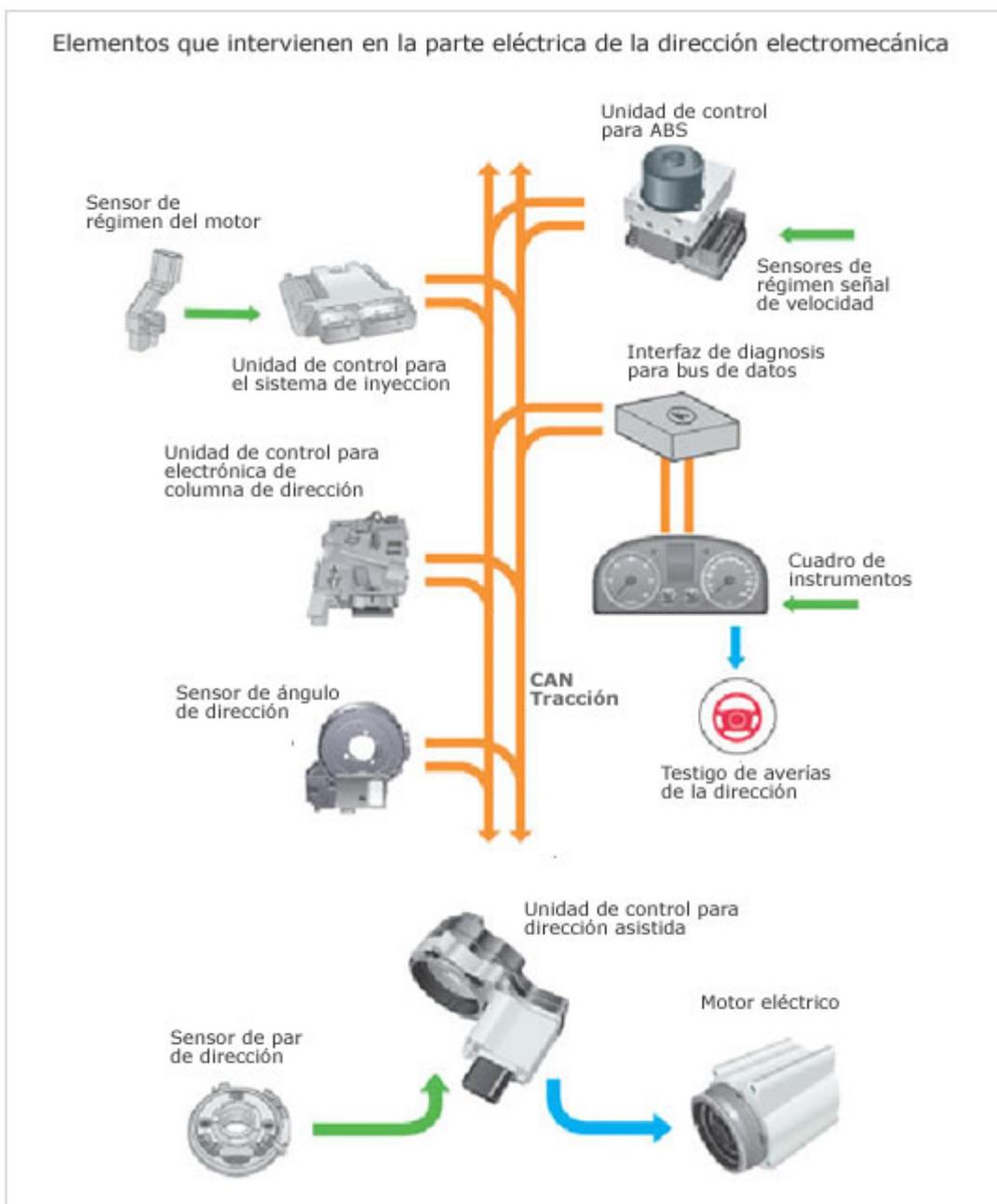


Diagrama de los elementos que intervienen en la gestión electrónica de la dirección electromecánica



Sensor de ángulo de dirección

El sensor de ángulo de dirección va situado detrás del anillo retractor con el anillo colector para el sistema airbag. Se instala en la columna de dirección, entre el mando combinado y el volante.

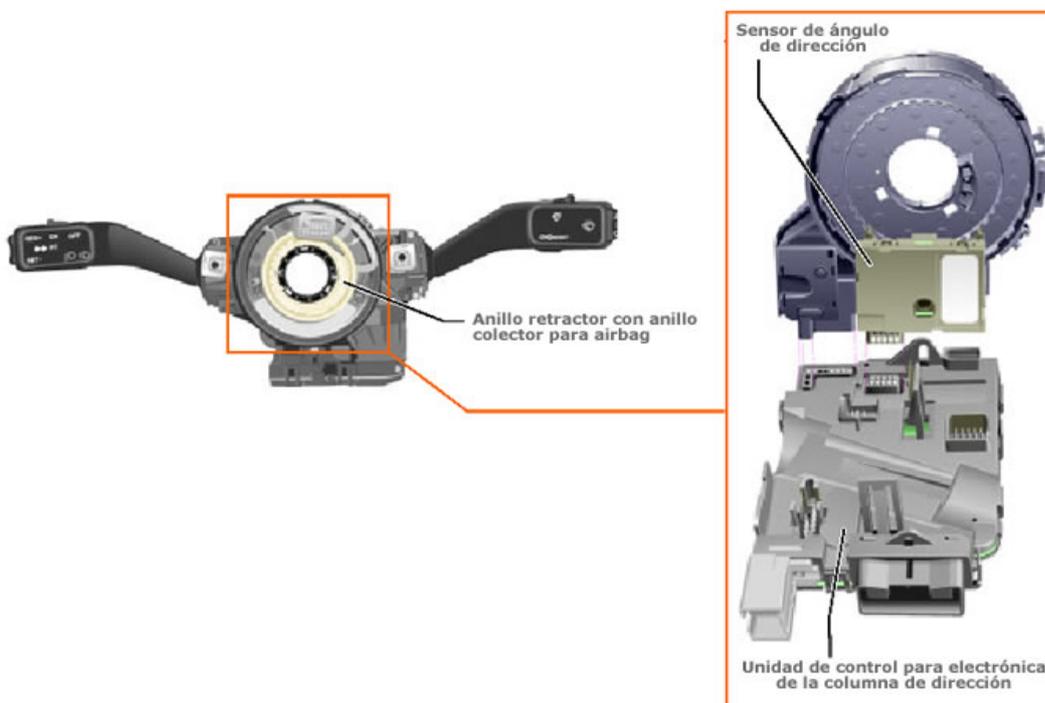
Suministra la señal para la determinación del ángulo de dirección, destinándola a la unidad de control para electrónica de la columna de dirección a través del CAN-Bus de datos.

En la unidad de control para electrónica de la columna de dirección se encuentra el analizador electrónico para estas señales.

Efectos en caso de avería

Si se avería el sensor se pone en vigor un programa de emergencia. La señal faltante se sustituye por un valor supletorio.

La servoasistencia para la dirección se conserva plenamente. La avería se indica encendiéndose el testigo de averías del cuadro de instrumentos.



Los componentes básicos del sensor de ángulo de dirección son:

- un disco de codificación con dos anillos
- parejas de barreras luminosas con una fuente de luz y un sensor óptico cada una

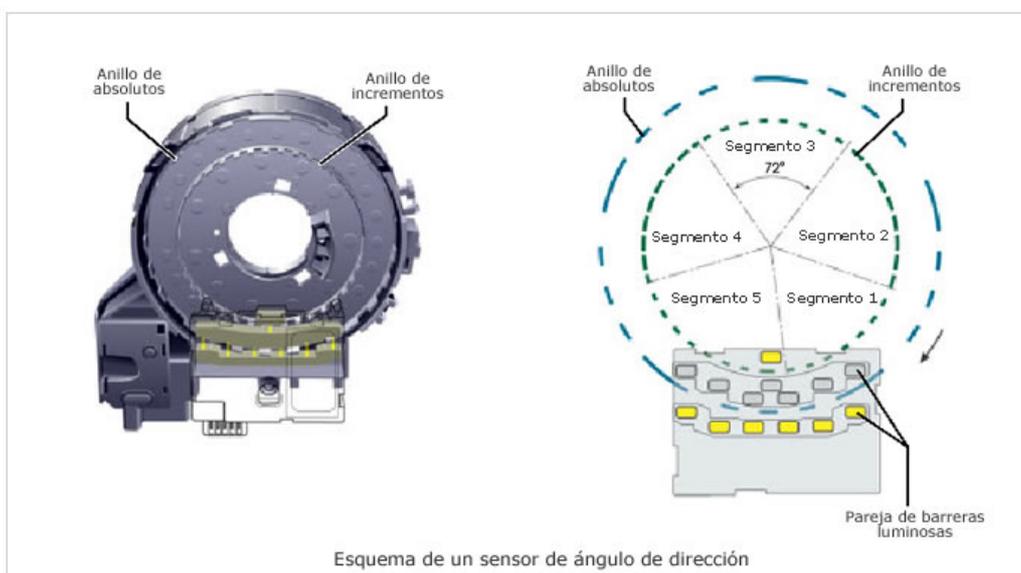
El disco de codificación consta de dos anillos, el anillo exterior de valores absolutos y el anillo interior de valores incrementales.

El anillo de incrementos esta dividido en 5 segmentos de 72° cada uno y es explorado por una pareja de barreras luminosas. El anillo tiene almenas en el segmento. El orden de sucesión de las almenas es invariable dentro de un mismo segmento, pero difiere de un segmento a otro. De ahí resulta la codificación de los segmentos.

El anillo de absolutos viene a determinar el ángulo. Es explorado por 6 parejas de barreras luminosas.

El sensor de ángulo de dirección puede detectar 1044° de ángulo (casi 3 vueltas de volante). Se dedica a sumar los grados angulares. De esa forma, al sobrepasar la marca de los 360° reconoce que se ha ejecutado una vuelta completa del volante.

La configuración específica de la caja de la dirección permite dar 2,76 vueltas al volante de la dirección.



Si por simplificar la explicación se contempla solamente el anillo de incrementos, se aprecia por un lado del anillo la fuente luminosa y por el otro el sensor óptico (figura inferior)..

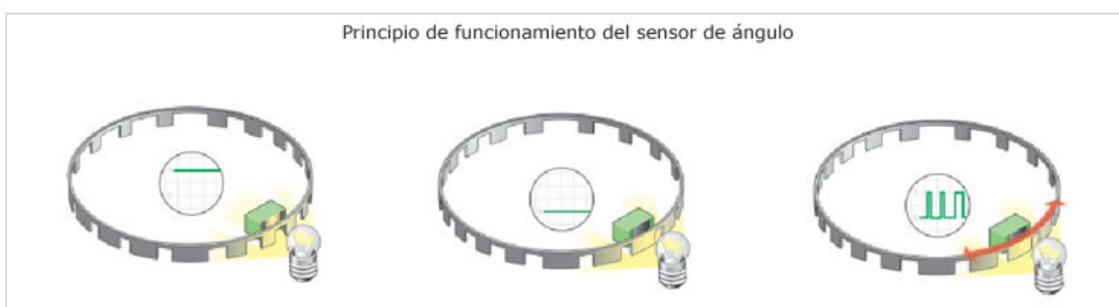
La medición del ángulo se realiza según el principio de la barrera luminosa. Cuando la luz incide en el sensor al pasar por una almena del anillo se engendra una señal de tensión. Al cubrirse la fuente luminosa se vuelve a interrumpir la tensión de la señal.

Al mover ahora el anillo de incrementos se produce una secuencia de señales de tensión.

De esa misma forma se genera una secuencia de señales de tensión en cada pareja de barreras luminosas aplicadas al anillo de valores absolutos.

Todas las secuencias de señales de tensión se procesan en la unidad de control para electrónica de la columna de dirección.

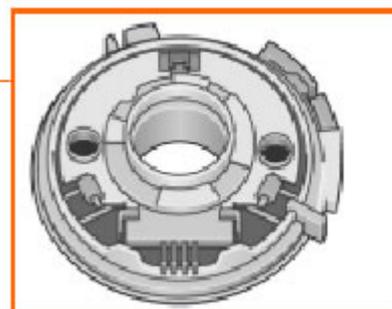
Previa comparación de las señales, el sistema puede calcular a qué grados han sido movidos los anillos. Durante esa operación determina también el punto de inicio del movimiento en el anillo de valores absolutos.



Sensor de par de dirección

El par de mando a la dirección se mide con ayuda del sensor de par de dirección directamente en el piñón de dirección. El sensor trabaja según el principio magnetorresistivo.

Está configurado de forma doble (redundante), para establecer el mayor nivel de fiabilidad posible.



Sensor de par de dirección

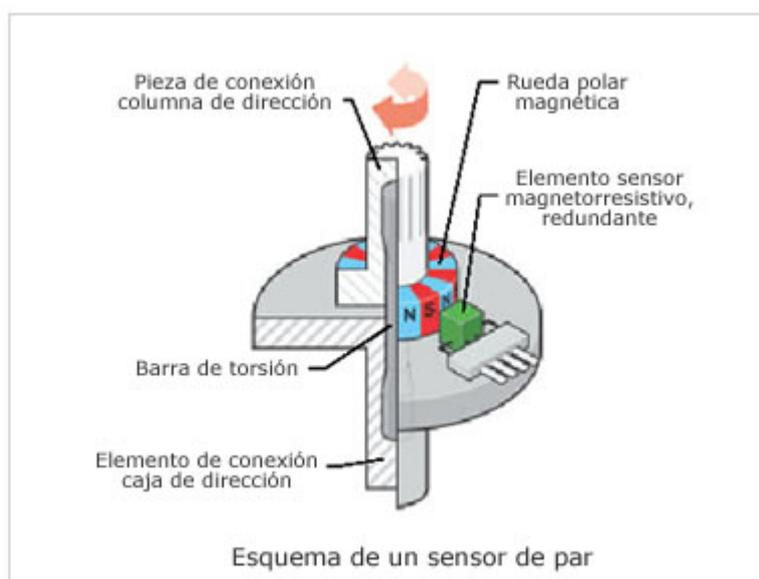
El sensor del par de giro acopla la columna y la caja de dirección a través de una barra de torsión. El elemento de conexión hacia la columna posee una rueda polar magnética, en la que se alternan 24 zonas de diferente polaridad magnética.

Para el análisis de los pares de fuerza se emplean dos polos respectivamente.

La contrapieza es un elemento sensor magnetorresistivo, que va fijado a la pieza de conexión hacia la caja de la dirección.

Al ser movido el volante se decalan ambas piezas de conexión entre sí en función del par que interviene.

En virtud de que con ello también se decala la rueda polar magnética con respecto al elemento sensor, resulta posible medir el par aplicado a la dirección de esa forma y se lo puede transmitir a la unidad de control en forma de señal.



Esquema de un sensor de par

Efectos en caso de avería

Si se avería el sensor de par de dirección se tiene que sustituir la caja de la dirección. Si se detecta un defecto se desactiva la servoasistencia para la dirección. La desactivación no se realiza de forma repentina, sino «suave». Para conseguir esta desactivación «suave» la unidad de control calcula una señal supletoria para el par de dirección, tomando como base los ángulos de dirección y del rotor del motor eléctrico. Si ocurre una avería se la visualiza encendiéndose en rojo el testigo luminoso del cuadro de instrumentos.

Sensor de régimen del rotor

El sensor de régimen del rotor es parte integrante del motor para la dirección asistida electromecánica. No es accesible por fuera.

Aplicaciones de la señal

El sensor de régimen del rotor trabaja según el principio magnetorresistivo y su diseño es igual que el del sensor del par de dirección.

Detecta el régimen de revoluciones del rotor que tiene el motor eléctrico para la dirección asistida electromecánica; este dato se necesita para poder excitar el motor con la debida precisión.

Efectos en caso de avería

Si se avería el sensor se emplea la velocidad de ángulo de dirección a manera de señal supletoria.

La asistencia a la dirección se reduce de forma segura. De ese modo se evita que se interrumpa de golpe la servoasistencia en caso de averiarse el sensor. La avería se indica encendiéndose en rojo el testigo luminoso del cuadro de instrumentos.

Velocidad de marcha del vehículo

La señal de la velocidad de marcha del vehículo es suministrada por la unidad de control para ABS.

Efectos en caso de avería

Si se ausenta la señal de velocidad de marcha del vehículo se pone en vigor un programa de marcha de emergencia. El conductor dispone de la plena servoasistencia a la dirección, pero se ausenta la función Servotronic. La avería se visualiza encendiéndose en amarillo el testigo luminoso del cuadro de instrumentos.

Sensor de régimen del motor

El sensor de régimen del motor es un sensor Hall. Va atornillado a la carcasa de la brida de estanqueidad del cigüeñal.

Aplicaciones de la señal

La señal del sensor de régimen del motor es utilizada por la unidad de control del motor para detectar el número de vueltas del motor y la posición exacta del cigüeñal.

Efectos en caso de avería

Si se avería el sensor de régimen del motor, la dirección pasa a funcionar con borne 15. La avería no se visualiza con el testigo luminoso

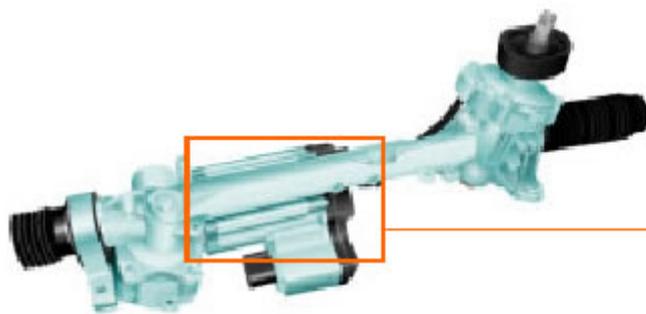
Motor eléctrico

El motor eléctrico es una versión de motor asíncrono sin escobillas. Desarrolla un par máximo de 4,1 Nm para servoasistencia a la dirección.

Los motores asíncronos no poseen campo magnético permanente ni excitación eléctrica. La característica que les da el nombre reside en una diferencia entre la frecuencia de la tensión aplicada y la frecuencia de giro del motor. Estas dos frecuencias no son iguales, en virtud de lo cual se trata de un fenómeno de asincronía.

Los motores asíncronos son de construcción sencilla (sin escobillas), lo cual los hace muy fiables en su funcionamiento. Tienen una respuesta muy breve, con lo cual resultan adecuados para movimientos muy rápidos de la dirección.

El motor eléctrico va integrado en una carcasa de aluminio. A través de un engranaje de sin fin y un piñón de accionamiento ataca contra la cremallera y transmite así la fuerza de servoasistencia para la dirección. En el extremo del eje por el lado de control va instalado un imán, al cual recurre la unidad de control para detectar el régimen del rotor. La unidad de control utiliza esta señal para determinar la velocidad de mando de la dirección.



Motor eléctrico

Efectos en caso de avería

Una ventaja del motor asíncrono consiste en que también es movable a través de la caja de la dirección al no tener corriente aplicada.

Esto significa, que también en caso de averiarse el motor y ausentarse por ello la servoasistencia, sigue siendo posible mover la dirección aplicando una fuerza sólo un poco superior. Incluso en caso de un cortocircuito el motor no se bloquea. Si el motor se avería, el sistema lo visualiza encendiéndose en rojo el testigo luminoso del cuadro de instrumentos.

Unidad de control para la dirección

La unidad de control para dirección asistida va fijada directamente al motor eléctrico, con lo cual se suprime un cableado complejo hacia los componentes de la servodirección.

Basándose en las señales de entrada, tales como:

- la señal del sensor de ángulo de dirección,
- la señal del sensor de régimen del motor,
- el par de dirección y el régimen del rotor,
- la señal de velocidad de marcha del vehículo
- la señal de que se identificó la llave de contacto en la unidad de control.

La unidad de control calcula las necesidades momentáneas de servoasistencia para la dirección. Calcula la intensidad de corriente excitadora y excita correspondientemente el motor eléctrico.

La unidad de control tiene integrado un sensor térmico para detectar la temperatura del sistema de dirección. Si la temperatura asciende por encima de los 100 °C se reduce de forma continua la servoasistencia para la dirección.

Si la servoasistencia a la dirección cae por debajo de un valor de 60%, el testigo luminoso para dirección asistida se enciende en amarillo y se inscribe una avería en la memoria.



Unidad de control para la dirección

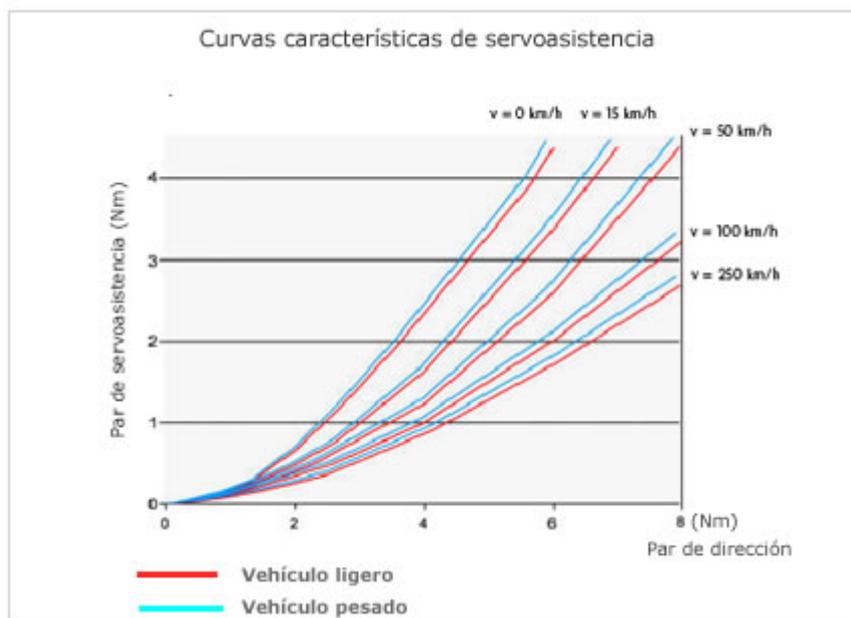
La familia de características y sus curvas

La regulación de la servoasistencia para la dirección se lleva a cabo recurriendo a una familia de características almacenada en la memoria permanente de programas de la unidad de control. Esta memoria abarca hasta 16 diferentes familias de características. Por ejemplo, en el caso del Golf 2004 se utilizan 8 familias de características de entre todas las disponibles. Según el planteamiento (p. ej. el peso del vehículo) se activa en fábrica una familia de características específica.

Sin embargo, también en el Servicio Postventa es posible activar la familia de características con ayuda del sistema de diagnóstico. Esto resulta necesario, p. ej., si se sustituye la unidad de control de la dirección.

Como ejemplos se han seleccionado aquí respectivamente una familia de características para un vehículo pesado y una para uno ligero de entre las 8 familias de características implementadas para el Golf

2004. Una familia de características contiene cinco diferentes curvas asignadas a diferentes velocidades del vehículo (p. ej. 0 km/h, 15 km/h, 50 km/h, 100 km/h y 250 km/h). Una curva de la familia de característica expresa el par de dirección a que el motor eléctrico aporta mas o menos servoasistencia para hacer mas fácil y preciso el manejo de la dirección teniendo en cuenta variables como por ejemplo: el peso del vehículo.



Efectos en caso de avería

Si se avería la unidad de control para dirección asistida se la puede sustituir completa.

La familia de características correspondiente en la memoria no volátil para programas de la unidad de control tiene que ser activada por medio del sistema de diagnóstico.

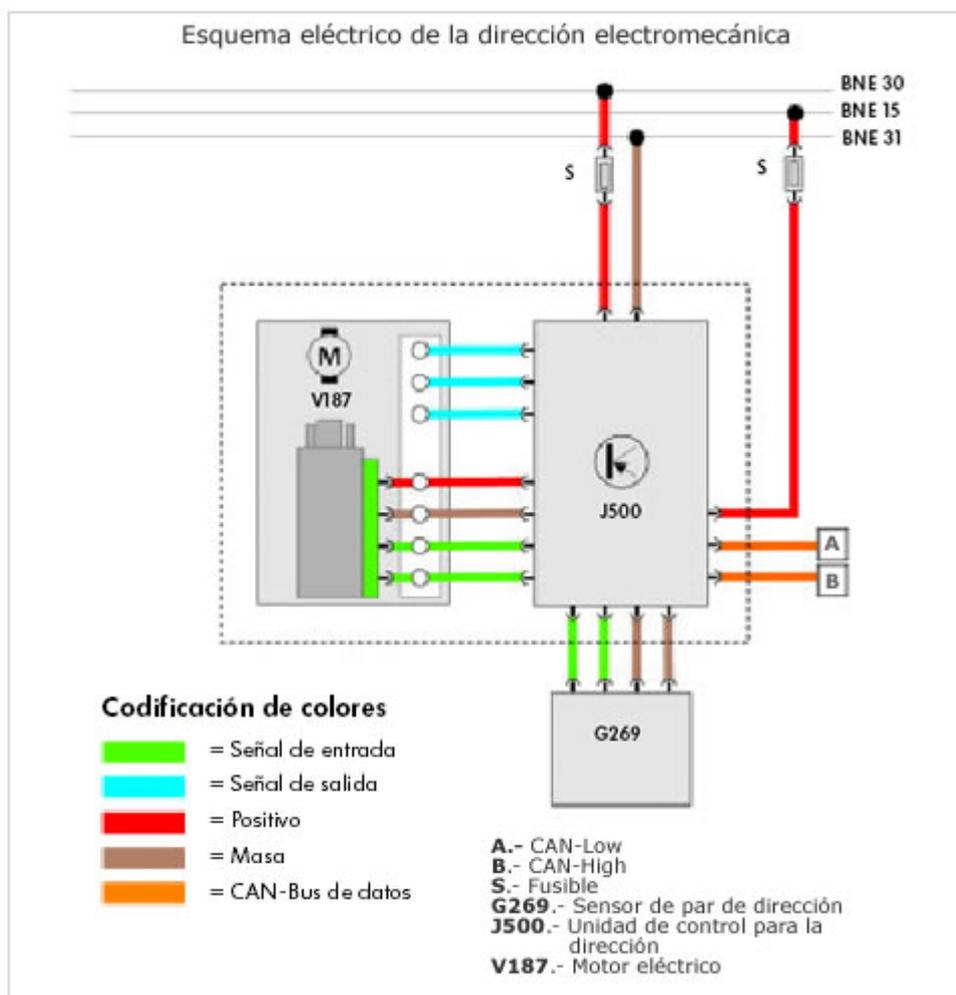
Testigo luminoso de averías

El testigo luminoso se encuentra en la unidad indicadora del cuadro de instrumentos. Se utiliza para avisar sobre funciones anómalas o fallos en la dirección asistida electromecánica.

El testigo luminoso puede adoptar dos diferentes colores para indicar funciones anómalas. Si se enciende en amarillo, significa un aviso de menor importancia. Si el testigo luminoso se enciende en rojo hay que acudir de inmediato a un taller. Cuando el testigo luminoso se enciende en rojo suena al mismo tiempo una señal de aviso acústico en forma de un gong triple.



Al conectar el encendido, el testigo se enciende en rojo, porque el sistema de la dirección asistida electromecánica lleva a cabo un ciclo de autochequeo.
Sólo a partir del momento en que llega la señal procedente de la unidad de control para dirección asistida, según la cual el sistema trabaja de forma correcta, es cuando el testigo se apaga. Este ciclo de autochequeo tarda unos dos segundos. El testigo se apaga de inmediato en cuanto se arranca el motor.



Particularidad

Baterías descargadas

El sistema detecta tensiones bajas y reacciona ante éstas. Si la tensión de la batería desciende por debajo de los 9 voltios se reduce la servoasistencia para la dirección hasta llegar a su

desactivación y se enciende el testigo luminoso en rojo.
Si surgen caídas breves de tensión por debajo de 9 voltios el testigo luce en amarillo.

Diagnosis

Los componentes del sistema de la dirección asistida electromecánica son susceptibles de autodiagnosis.

Autoadaptación de los topes de la dirección

Para evitar topes mecánicos secos de la dirección se procede a limitar el ángulo de mando por medio de software.

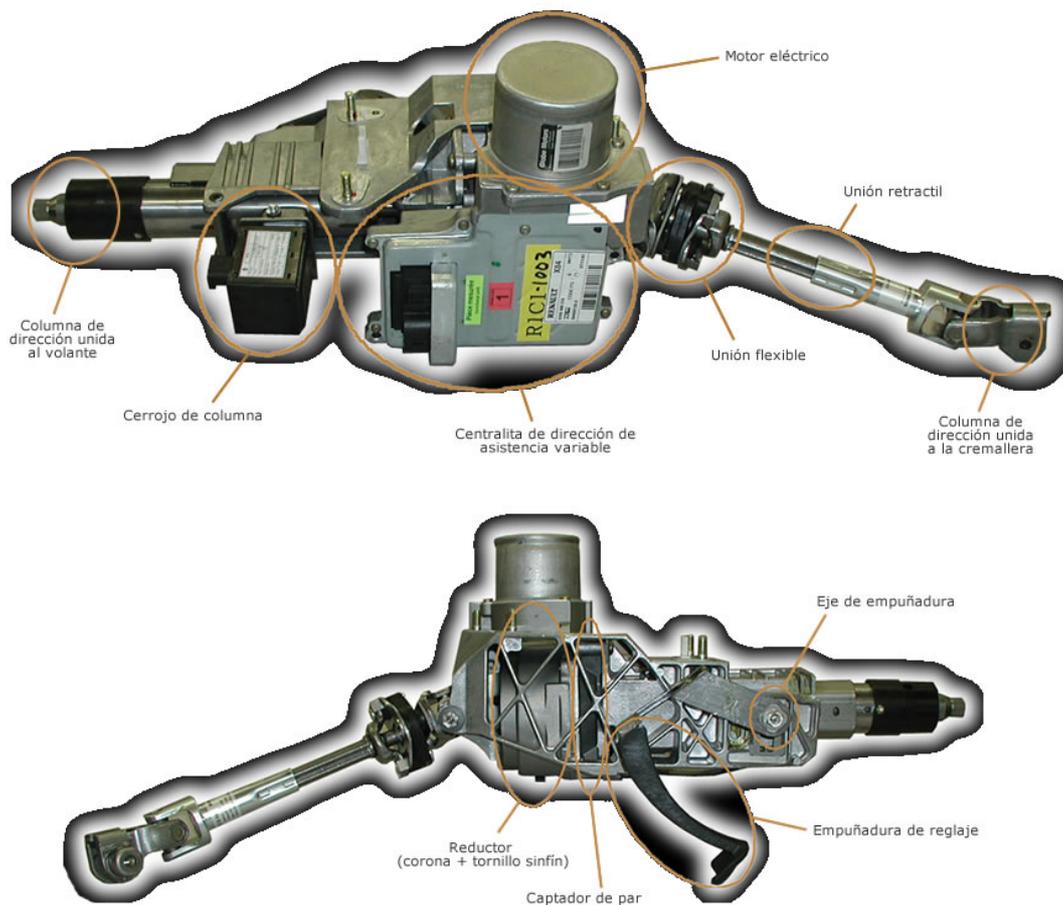
El «tope de software» y, con éste, la amortiguación del mando se activan al llegar el volante a un ángulo de aprox. 5° antes del tope mecánico.

El par de servoasistencia se reduce durante esa operación en función del ángulo y par de dirección.

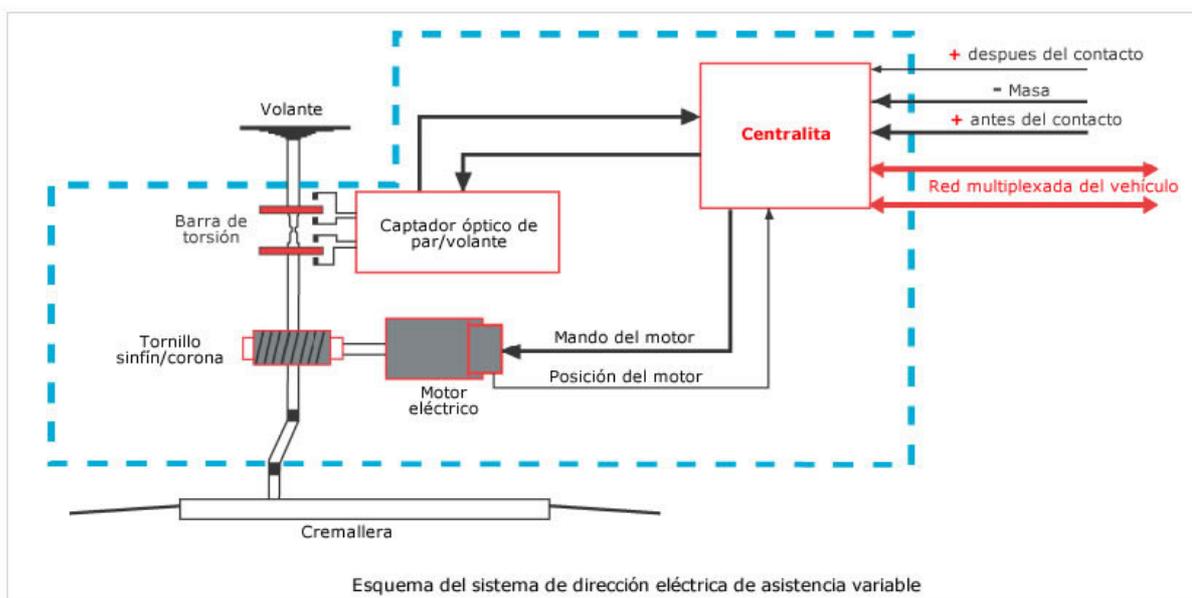
Otros fabricantes de vehículos utilizan otro tipo de sistemas de dirección electromecánica, cuyo diseño es diferente al anterior.

El fabricante **Renault** utiliza el siguiente sistema:

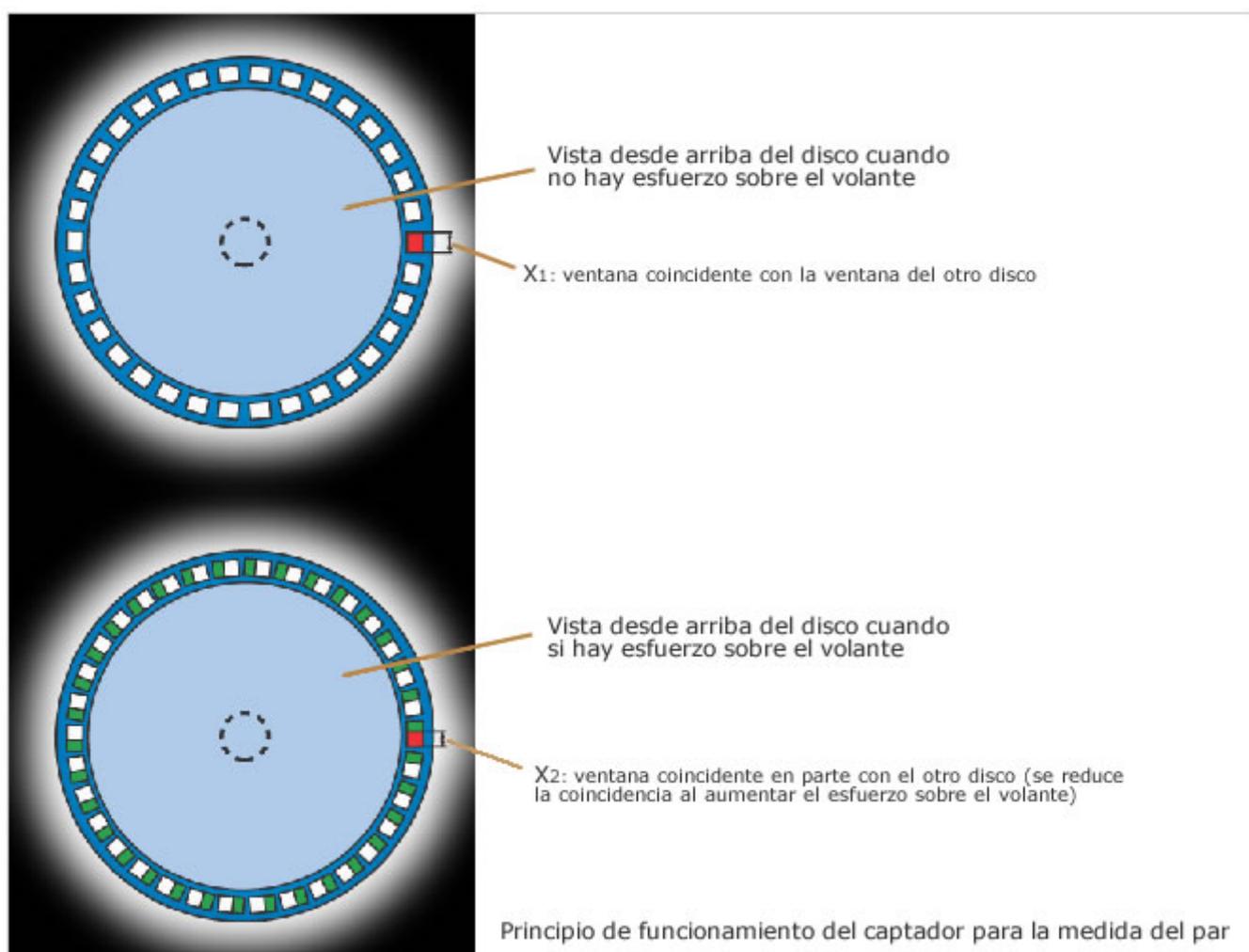
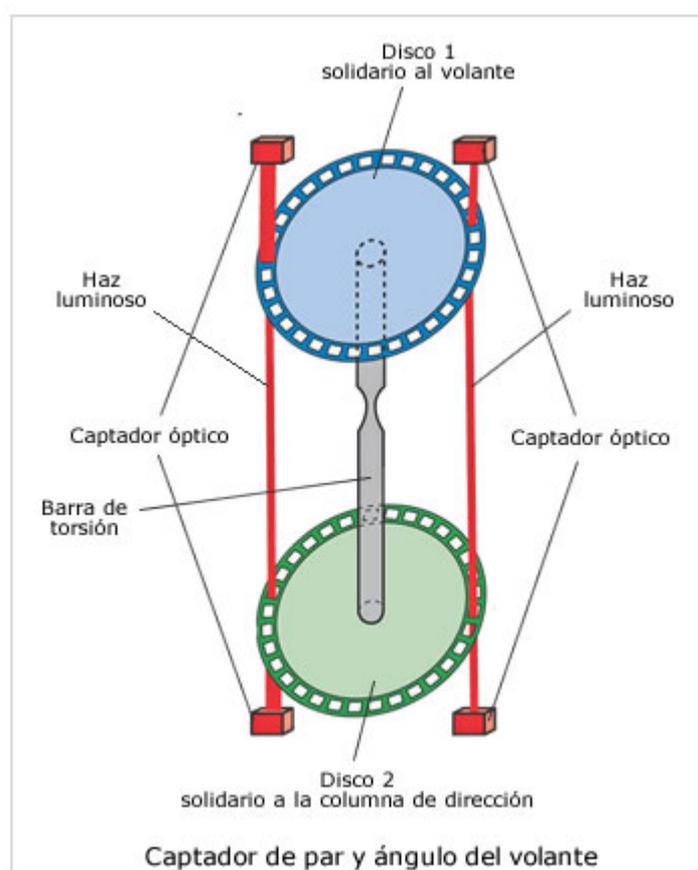
En la figura inferior se pueden ver los elementos que forman la dirección electromecánica, falta la parte de la columna de dirección que mueve el piñón que a su vez acciona la cremallera.



En la figura inferior se puede ver el esquema eléctrico donde se aprecia la centralita o módulo electrónico, que controla el motor eléctrico y que recibe información del estado de la dirección a través de los sensores de la posición del motor eléctrico y del captador óptico de par/volante que mide la desviación que hay en la barra de torsión entre su parte superior y su parte inferior, este valor compara el esfuerzo que hace el conductor en mover el volante y la asistencia que proporciona el motor eléctrico. La centralita con esta información mas la que recibe a través de la red multiplexada (CANbus) y teniendo en cuenta un campo característico que tiene en memoria, genera una señal en forma de corriente eléctrica que es la que gobierna el motor eléctrico.



El captador de par y ángulo del volante, utiliza dos discos solidarios unidos por una barra de torsión que esta debilitada en su centro, esto es para que permita un cierto retorcimiento cuando las fuerzas son distintas en sus extremos. Unos rayos de luz atraviesan las ventanas practicadas en los discos, esto sirve en primer lugar para conocer la posición angular del volante, es decir para saber cuanto se ha girado el volante. En segundo lugar cuando las fuerzas que se aplican en los extremos de la barra de torsión son distintas, las ventanas del disco superior no coinciden con las del disco inferior, esto provoca que el rayo de luz no llegue en su totalidad y parte de la luz que envía el emisor no es recibida por el receptor del captador óptico.



El fabricante Opel (General Motors) utiliza este tipo de dirección electromecánica

