



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil

Autor:

González Mateo, Álvaro

Tutor:

**Pérez Barreiro, Cristina
Departamento: Tecnología
Electrónica**

Valladolid, Julio 2019.



Resumen

La electrónica está cada vez más presente en los sistemas de seguridad del automóvil, al igual que los sensores necesarios para su funcionamiento, los cuales son el tema principal de estudio del presente TFG. Para cada uno de ellos se describen sus características, funcionamiento y situación junto con el uso específico que se les ha dado en cada sistema. Además, dependiendo del sensor, se da información adicional como causas comunes de fallo o peculiaridades entre los distintos diseños de un mismo sensor.

Previamente a este análisis se hace un breve resumen de cada sistema de seguridad que requiere de sensores para su funcionamiento. La razón para hacer esto es poder comprender de una forma más sencilla el porqué de la elección de un determinado sensor para su instalación en un sistema concreto.

Palabras clave: Sensores, Automoción, Seguridad, Electrónica, Vehículo

Abstract

Electronics are increasingly present in automotive safety systems. So do sensors, which are the main topic of study of this bachelor degree thesis. For each one of them are described their characteristics, operation and their particular application in each system. In addition, depending on the sensor, additional information is given such as common causes of failure or peculiarities between the different designs of the same sensor.

Prior to this analysis, it is given a brief description of each safety system which needs a sensor to work. The main reason for doing this is to understand it simpler why it has been chosen to install a particular sensor in a particular system.

Key words: Sensors, Automotive, Security, Electronics, Vehicle



Universidad de Valladolid

Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



Índice

1. Objetivos y justificación	5
2. Introducción	7
3. Sistemas de seguridad del automóvil	11
4. Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil.....	27
4.1. Sensor de velocidad de las ruedas	27
4.1.1. Sensor de velocidad de las ruedas pasivo.....	27
4.1.2. Sensores de velocidad de las ruedas activos.....	29
4.1.3. Ventajas del sensor activo de las ruedas frente al pasivo	33
4.1.4. Sistemas en los que se emplea	33
4.1.5. Averías y diagnóstico	34
4.2. Sensor de inclinación o sensor de eje	34
4.2.1. Descripción y características	34
4.2.2. Sistemas en los que se emplea y situación en el vehículo.....	36
4.2.3. Averías y diagnóstico	36
4.3. Sensor microelectromecánico de presión (MEMS)	37
4.3.1. Introducción a la tecnología MEMS.....	37
4.3.2. Descripción y características	37
4.3.3. Sistemas en los que se emplea.....	38
4.3.4. Montaje y situación el vehículo.....	38
4.3.5. Diagnóstico de fallos cuando el sensor de presión MEMS trabaja en el TPMS	40
4.4. Sensor microelectromecánico de rotación (MEMS).....	40
4.4.1. Cálculo de la fuerza de Coriolis.....	40
4.4.2. Diseño, características y funcionamiento de dos modelos de sensor de rotación	41
4.4.3. Sistemas en los que se emplea.....	43
4.5. Sensor de aceleración.....	43
4.5.1. Sensor de aceleración MEMS capacitivo de silicio fabricado por micromaquinado.....	44
4.5.2. Sensor de aceleración capacitivo fabricado mediante micromecánica de superficie.....	46
4.5.3. Sensor de aceleración de efecto Hall.....	47
4.5.4. Sensor de aceleración piezoeléctrico.....	49
4.5.5. Sensor de impacto.....	50



4.5.6. Sistemas en los que se emplean los sensores de aceleración capacitivos fabricado por micromaquinado y de efecto Hall y su situación en el vehículo.....	51
4.5.7. Sistemas en los que se emplea el sensor de aceleración piezoeléctrico, el sensor capacitivo fabricado por micromecánica de superficie y los sensores de impacto y su situación en el vehículo	52
4.6. Sensor de fuerza	53
4.6.1. Sensor de mediación de fuerza por desplazamiento iBolt (Bosch)	53
4.6.2. Sensor de fuerza resistivo o FSR	55
4.6.3. Sistemas en los que se emplea	57
4.6.4. Situación en el vehículo	58
4.7. Sensor magnetorresistivo anisotrópico (AMR).....	59
4.7.1 Sistemas en los que se emplea	61
4.7.2. Situación en el vehículo	63
4.8. Sensor de par torsor	63
4.8.1. Funcionamiento.....	64
4.8.2. Sistema en el que se emplea y situación en el vehículo.....	65
4.9. Sensor radar	66
4.9.1. Frecuencia	68
4.9.2. Sistemas en los que se emplean y situación en el vehículo.....	69
5. Conclusiones	73
6. Glosario de términos.....	75
7. Bibliografía.....	77



1. Objetivos y justificación

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es profundizar en el estudio de los sensores que aparecen en los sistemas de seguridad de los automóviles que hay en la actualidad.

Es un hecho que a medida que pasan los años el factor “seguridad” ha ganado importancia y cada vez son más las restricciones que se ponen a los fabricantes obligando a incluir ciertos sistemas de seguridad por defecto. Así mismo, existen programas de seguridad que hacen pasar al vehículo por una serie de test que tienen como resultado una determinada puntuación en este apartado de la seguridad. Un ejemplo es el programa Euro NCAP (Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos), que da una puntuación de 0 a 5 estrellas no solo dependiendo del rendimiento del vehículo al superar ciertas pruebas de simulación de accidentes, sino también del equipamiento de seguridad que incorpora. Aparte de factores como el precio o la marca, este tipo de valoraciones son cada vez más tenidas en cuenta por los consumidores a la hora de escoger un automóvil.

También hay que tener en cuenta que la seguridad del vehículo está en constante evolución. Desde la implementación del cinturón de seguridad en la década de los años cuarenta hasta el día de hoy, el número de sistemas de seguridad no ha parado de crecer. Supuso un fuerte impulso la llegada de la electrónica al vehículo, no solo introduciendo nuevos sistemas sino también mejorando los ya existentes. Es aquí donde gana transcendencia el sensor, siendo el elemento diferencial de cada uno de ellos. De esta forma es relevante conocer su funcionamiento y el porqué de su elección para cada sistema de seguridad del vehículo.

Por otro lado, para un estudiante del grado de ingeniería mecánica que siempre se ha interesado por el mundo de la automoción este TFG supone un complemento muy bueno al grado. Es por ello otro de mis objetivos adquirir más conocimientos de la parte electrónica de este campo. Este desconocimiento inicial de muchos de los temas tratados en el trabajo tiene su influencia a la hora su planificación. Tras la introducción se comienza explicando los distintos sistemas de seguridad como base para entender a posteriori que función tiene el sensor en dicho sistema y el porqué de su ubicación. En este trabajo estos dos últimos puntos serán comunes para cada sensor descrito. Además y dependiendo del sensor, se tratarán temas como posibles causas de fallo o las diferencias que hay entre distintos modelos de un mismo sensor.



Universidad de Valladolid

Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



2. Introducción

Un sensor es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud exterior y convertirla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que es posible cuantificar y manipular.

Los sensores se pueden clasificar según distintos parámetros:

1. Según el tipo de señal que generan:

- **Digitales:** Aquellos sensores que frente a un estímulo tienen como señal de salida valores discretos.
- **Analógicos:** En este caso, dependiendo de la variable que se esté midiendo, la señal de salida es un valor de voltaje analógico dentro de un campo de medida.
- **Todo o nada:** También conocidos como “on-off”. La señal de salida solo tiene dos estados posibles separados por un valor umbral de la variable a detectar.

2. Según el principio de funcionamiento:

- **Activos:** No requieren un aporte de energía para funcionar, detectando y proporcionando una señal de salida de forma autónoma. Es decir, la energía emitida la obtienen de la transformación realizada. Algún ejemplo son los termopares o los piezoeléctricos.
- **Pasivos:** Para su funcionamiento requieren del aporte de energía de una fuente de alimentación auxiliar. Dentro de este tipo se encuentran los termistores o los fotodiodos.

3. Una clasificación más detallada es según su magnitud física o química a detectar:

Tabla 1. Clasificación sensores según la magnitud física o química que detectan.

Tipo de sensor	Ejemplos
Posición angular o lineal	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciómetros • Encoders (sensor óptico) • Sensores magnéticos (efecto Hall) • Sensores magnetoresistivos • Sensores capacitivos • Sensores Inductivos • Finales de carrera
Desplazamiento y deformación	<ul style="list-style-type: none"> • Magnetostrictivos • Por hilo • Transformadores diferenciales • Palapdres (resistivos, inductivos, y extensométricos)



	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciométricos
Velocidad lineal y angular	<ul style="list-style-type: none"> • Tacómetro
Fuerza y par	<ul style="list-style-type: none"> • Galga extensiométrica • Transformadores diferenciales
Aceleración	<ul style="list-style-type: none"> • Acelerómetro sísmico • Acelerómetro piezoeléctrico
Presión	<ul style="list-style-type: none"> • Piezoeléctricos • Membrana + detector de desplazamiento
Caudal	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo de Venturi • Tubo de Pitot • De turbina
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Termopares • Termorresistencias • RTD (Detector de temperatura resistivo)
Proximidad	<ul style="list-style-type: none"> • Inductivos • Capacitivos • Fotoeléctricos • Radar • Ultrasónicos
Luz	<ul style="list-style-type: none"> • LDR (fotorresistencia) • Fotodiodos

Estos son algunos de los más comunes, pero hay muchas más variables medibles a través de un sensor como la humedad, la acidez, el color, el sonido...

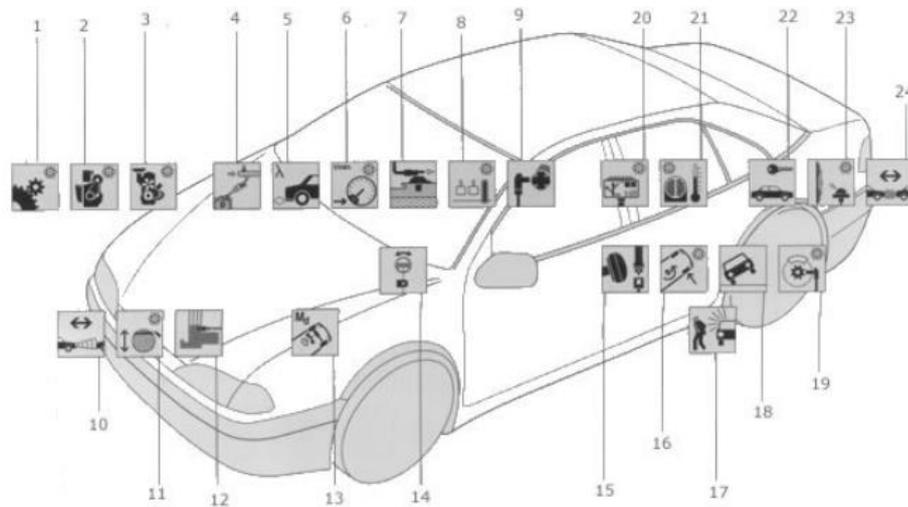
Ya especificando para el mundo de la automoción, en un coche convencional actual se puede encontrar una gran cantidad de sensores, fácilmente más de cincuenta. Como cualquier sensor, su función es la de recopilar información del medio, transformando una variable física (temperatura, presión, fuerza...) en otro tipo de señal. Estas señales son transmitidas a las unidades de control que son las encargadas de interpretarlas para regular los distintos sistemas que trabajan en el vehículo.

Los sensores del vehículo se pueden clasificar atendiendo a dos vías. Una primera refiriéndose al tipo de función que ejerce y una segunda en función de su señal de salida:

- Según el tipo de función:
 - **Sensores de motor y transmisión:** Un ejemplo es el sensor de presión del depósito, que avisa a la computadora interna cuando hay una fuga en el sistema de combustible.

- **Sensores de seguridad:** Como el sensor de eje cuya función es determinar la inclinación del vehículo para ajustar la posición de los faros y garantizar una correcta visibilidad de la calzada.
- **Sensores de confort:** Aquí se puede encontrar el sensor de lluvia, que detecta cuando hay agua sobre el parabrisas para así activar el limpiaparabrisas.

En la ilustración 1 se resumen según esta clasificación los sensores que incorpora un vehículo convencional.



Diferentes sensores colocados en el automóvil

Sensores de motor y transmisión

- 1.- Sensor de presión (mando de cambio Motronic)
- 2.- Sensor de presión de sobrealimentación (regulación electrónica Diesel, Motronic)
- 3.- Sensor de masa de aire (Motronic)
Sensor de picado (Motronic)
- 4.- Sensor de alta presión (inyección directa de gasolina, Common Rail)
- 5.- Sonda Lambda
- 6.- Sensor de velocidad de rotación (mando de cambio Motronic)
- 7.- Sensor de presión del depósito (diagnos de a bordo)
- 8.- Transmisor de posición del pedal (acelerador electrónico, freno electrohidráulico)
- 9.- Sensor de ángulo de posición árbol de levas (Motronic)

Sensores de Seguridad

- 10.- Radar telemétrico (ACC, prevención de colisión)
- 11.- Sensor de inclinación (regulación de los faros)
- 12.- Sensor de alta presión (ESP)
- 13.- Sensor de par (servodirección)
- 14.- Sensor de ángulo de volante dirección (ESP)
- 15.- Sensor de aceleración (airbag)
Sensor de ocupación de asiento (airbag)
Sensor de magnitud de giro o viraje (ESP)
- 16.- Sensor de aceleración transversal (ESP)
- 17.- Sensor de inclinación
- 18.- Sensor de vuelco
- 19.- Sensor de velocidad de giro ruedas (ABS)

Sensores de confort

- 20.- Sensor de viraje (navegación)
- 21.- Sensor de calidad de aire (regulación calefacción y climatización)
- 22.- Sensor de presión (cierres centralizados)
- 23.- Sensor de lluvia
- 24.- Sensor telemétrico de ultrasonido (vigilancia zona trasera, aparcamiento)

Ilustración 1. Sensores de un vehículo clasificados según su función.

- Según el tipo de señal de salida se diferencia entre sensores de:
 - **Señal analógica.** Algunos sensores que trabajan con este tipo de señal son el caudalímetro o el sensor de temperatura del motor.



- **Señal digital.** Indica que se han conectado o desconectado determinados elementos. Por ejemplo los impulsos de las revoluciones en el sensor Hall.
- **Señal pulsatoria,** Como el sensor de giro inductivo de las ruedas que determina del número de revoluciones ayudándose de unas marcas de referencia.



3. Sistemas de seguridad del automóvil

Antes de centrarse en los sensores correspondientes a los sistemas de seguridad del automóvil se hará una breve descripción de cada uno para que posteriormente sea más sencillo situar y exponer la función de cada sensor en cada sistema.

En este apartado aparecerán los sistemas de seguridad principales y que están disponibles en la mayoría de los automóviles de la actualidad, siendo algunos de ellos de obligatoria instalación y otros opcionales. Siguiendo esta última clasificación (correspondiente a la normativa europea), en la siguiente tabla se resumen los sistemas de los que se va a tratar.

Tabla 2. Clasificación sensores según su obligatoriedad de instalación.

Sistemas de seguridad de obligada instalación	Sistemas de seguridad opcionales
Sistema antibloqueo de frenos (ABS)	Sistema de control de tracción (TCS)
Programa de estabilidad electrónica (ESP)	Corrector automático de faros (obligatorio si los faros son del tipo bi-xenon)
Control de presión de neumáticos (TPMS)	Control electrónico de inclinación (ERM)
Airbag.	Sistemas de seguridad modernos basados en dispositivos de detección de presencia
Sistema de dirección asistida	
Sistema de clasificación de pasajeros (OCS) (obligatorio en plazas delanteras)	

Sistema antibloqueo de frenos (ABS)

Sistema de seguridad activa cuya función es la de mantener el control óptimo del vehículo tras una frenada brusca o en condiciones de baja adherencia, evitando así el bloqueo de una o varias ruedas.

En la ilustración 2 se pueden ver los distintos elementos de los que se compone un sistema de frenado en X con ABS:

1. Pedal de freno
2. Servofreno
3. Bomba de freno
4. Disco de freno
5. Pinza de freno
6. Válvula reguladora de presión de frenado
7. Tambor de freno
8. Bombín de freno
9. Sensor de velocidad de las ruedas
10. Testigo de control ABS
11. Unidad hidráulica
12. Unidad de control electrónica
13. Enchufe de diagnóstico

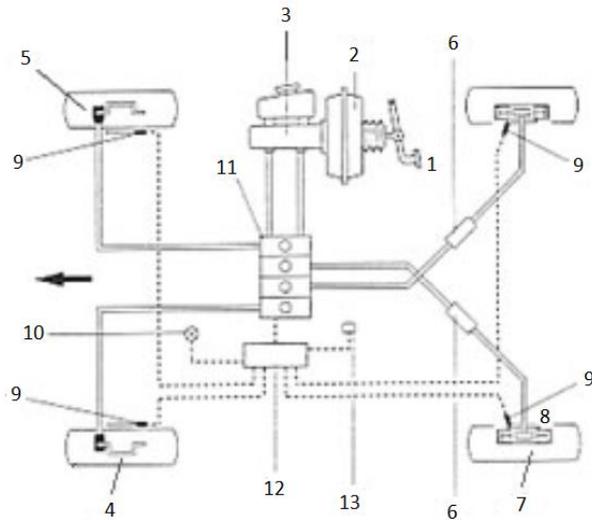


Ilustración 2. Sistema de frenado en X con ABS.

La clave para comprender como funciona el ABS está en la fuerza de rozamiento entre los neumáticos del vehículo y la calzada.

Existen dos tipos de rozamiento:

- *Rozamiento estático*: Aparece cuando el objeto no está en movimiento. En un vehículo correspondería cuando este está detenido o en movimiento, pero sin que deslicen las ruedas.
- *Rozamiento dinámico*: Aparece cuando el objeto se encuentra en movimiento. En el caso de un vehículo, cuando deslizan las ruedas.

El rozamiento estático siempre es mayor que el dinámico. Como consecuencia requiere más fuerza poner en movimiento un vehículo que mantenerlo en movimiento.

Mientras la rueda no deslice sobre el suelo, los neumáticos de un automóvil se ayudan de la fuerza de rozamiento estático para que el coche se mueva. De forma que esta se transforma en fuerza de avance del vehículo.

La finalidad del ABS es lograr que las ruedas no se detengan completamente, así solo actuaría el rozamiento estático evitando que el vehículo patine.

Para conseguirlo los frenos tienen que actuar intermitentemente sobre las ruedas (entre 50 y 100 veces por segundo).



Ciclo de regulación que se lleva a cabo al bloquearse una rueda

Los sensores de velocidad situados en las ruedas miden el número de revoluciones al que giran y sensores de aceleración detectan aceleraciones longitudinales y transversales del vehículo. Esta información es enviada a la unidad de control del sistema ABS, de modo que si el sistema detecta una reducción considerable de la velocidad en alguna de las ruedas, el sistema actuará modificando la presión de frenado de forma individual para cada rueda.

Mediante unas electroválvulas, situadas en el circuito de frenos, se controla el paso del líquido de frenos. Cuando reciben una señal eléctrica de la centralita del ABS modifican el canal por el que circula el líquido para que no llegue al de la rueda, logrando que esta no frene y así, tampoco se bloquee.

En Europa es obligatorio que todos los vehículos fabricados desde el año 2003 incorporen este sistema.

Control de tracción (TCS)

Este sistema tiene como finalidad evitar que las ruedas de un vehículo pierdan tracción y patinen, algo que puede suceder cuando el vehículo inicia su marcha sobre una superficie húmeda o cuando toma una curva muy cerrada. Por la misma razón que cuando se produce un frenado brusco (caso ABS), el problema está en la fuerza de rozamiento “neumáticos – calzada”. Lo que ocurre es que el motor está transmitiendo a las ruedas una fuerza superior a la del rozamiento entre el suelo y la mismas provocando el deslizamiento.

Se trata de detectar si una rueda gira más rápido que las demás, para ello se emplean los mismos sensores de velocidad de las ruedas que el sistema ABS. Comparando entre las cuatro ruedas las diferencias en su velocidad de giro se puede determinar si alguna ha perdido tracción porque esta comenzará a girar más rápido. El sistema TCS trabaja junto al ABS para que, automáticamente, se actúe sobre el freno para reducir la velocidad de la rueda y evitar su deslizamiento. En la mayoría de los casos esto es suficiente, pero algunos sistemas de tracción reducen además la potencia que el motor transmite a la rueda que patina.

Programa de estabilidad electrónica (ESP)

Su función es la de asistir a los conductores a la hora de evitar choques reduciendo el peligro de patinar o perder el control en este caso debido a un sobreviraje. Fue por primera vez desarrollado por Bosch en los años noventa y



todos los automóviles que se matricularon después del año 2011 en la Unión Europea lo deben incorporar de forma obligatoria.

Este sistema trata de detectar si la dirección que sigue el vehículo no coincide con las maniobras que realiza el conductor y en ese caso actúa. Para conseguirlo hace uso del sistema de frenos, disminuyendo la velocidad de cada rueda de forma independiente para así mantener la trayectoria del automóvil. Como ocurría en el Control de Tracción, también cabe la posibilidad de actuar sobre el motor para reducir su potencia.

Control electrónico de inclinación (ERM)

El control electrónico de inclinación o ERM (Electronic Roll Mitigation) es un sistema de seguridad activa del vehículo. Comparte el mismo sistema que el Programa de estabilidad electrónica (ESP), pero con distinto enfoque. En el caso de ESP se procura que el vehículo no pierda el control debido a un sobreviraje. En cuanto al ERM lo que se busca es evitar un posible vuelco. Se puede encontrar sobre todo en vehículos pesados como monovolúmenes o camiones ya que tanto por el peso como por tener el centro de gravedad más alejado del suelo, el riesgo de volcar es mayor.

El sistema, haciendo uso de los mismos sensores que el Programa de Estabilidad, detecta cuando se está alcanzando un determinado ángulo de inclinación para el cual el vehículo ya podría volcar y actúa de forma inmediata. Se trata de que no se pierda el contacto con la calzada, para lo que el sistema trabaja sobre el acelerador nivelando su posición a la par que sobre el sistema de frenos. De esta forma se solidariza el movimiento vertical de las ruedas opuestas y minimiza la inclinación lateral que sufre el vehículo.

Corrector automático de faros

Este sistema tiene como función regular de forma automática el alcance de los faros del vehículo. Factores como la carga adicional que puede haber en su interior (sistemas estáticos), o incluso los cambios dinámicos como aceleraciones o frenados (sistemas dinámicos), afectan a la posición de los faros. El sistema se ajusta a las distintas circunstancias y de forma automática corrige la inclinación de los faros para lograr una correcta iluminación de la calzada. En la actualidad es obligatorio incorporar este sistema de seguridad en todos los vehículos que utilicen faros bi-xenón.

En la siguiente imagen (ilustración 3) se pueden distinguir los distintos elementos de los que está compuesto:

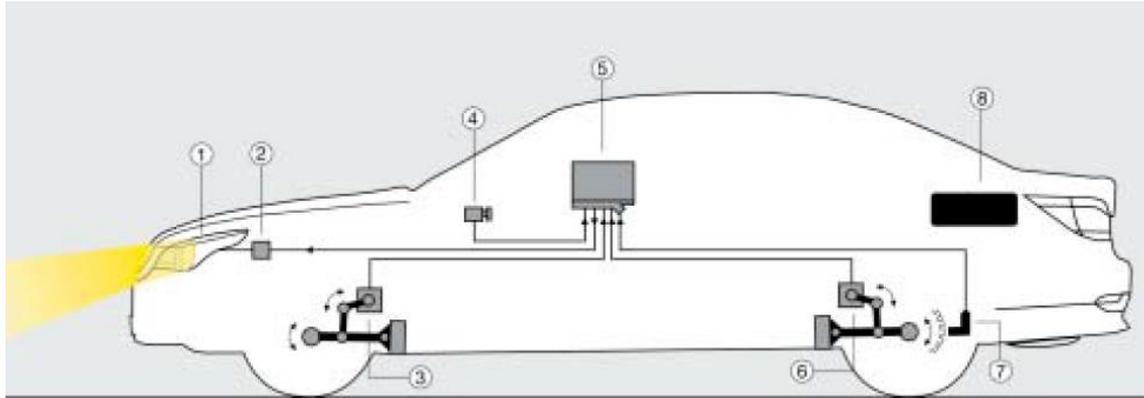


Ilustración 3. Localización de los elementos que componen un sistema de corrección de faros.

1. Faro
2. Actuador
3. Sensor de inclinación delantero
4. Conmutador de luz
5. Unidad de control
6. Sensor de eje trasero
7. Sensor de número de revoluciones de la rueda
8. Carga

Los sensores instalados tanto en la parte trasera como en la delantera del vehículo detectan alteraciones en el ángulo de inclinación del vehículo respecto de la calzada. Convierten esta información en una señal eléctrica que transmiten a la unidad de control del sistema. Esta interpreta esa información comparándola con un valor predeterminado para que, mediante los servomotores instalados en cada faro, se modifique su posición.

Dependiendo de qué variables sean consideradas a la hora de corregir la inclinación de los faros, se puede distinguir entre dos sistemas:

- **Sistema estático:** Se conoce con este nombre debido a que solo modifica el ángulo de los faros cuando la inclinación de la carrocería se mantiene constante durante bastante tiempo. En función de lo cargado que esté el vehículo (número de pasajeros y equipaje), se corrige su posición nada más haber iniciado su puesta en marcha, y tras pasado un cierto tiempo en el que el ritmo se ha estabilizado se vuelve a comprobar, corrigiéndola de nuevo si hace falta. Para conocer en qué estado se encuentra, el vehículo se aprovecha de la información proporcionada por la señal de velocidad del tacómetro del sistema ABS.

- **Sistema dinámico:** Se podría considerar este sistema más completo que el anterior ya que es capaz de corregir la posición de los faros en cualquier instante de marcha, es por ello el más utilizado en la actualidad. Aquí, la unidad de control tiene en cuenta también las aceleraciones y frenados. Esto conllevaba además que los servomotores de accionamiento sean capaces de ajustar los faros en fracciones de segundo, siendo comunes los motores paso a paso trabajando como actuadores en los faros.

Control de presión de neumáticos (TPMS: Tire-Pressure Monitoring System)

Este sistema de seguridad activa del vehículo es el encargado de avisar al conductor cuando uno o varios neumáticos han sufrido una pérdida de presión, encontrándose esta por debajo de la adecuada. Desde el año 2014, todos los nuevos vehículos que se pongan en venta deben incorporarlo de forma obligatoria.

Unos neumáticos con una presión por debajo de la indicada por el fabricante conllevan un considerable aumento en el riesgo de sufrir un accidente. Esto se debe a la pérdida de adherencia hace que el vehículo tarde más en frenar, sobre todo si la calzada está mojada. También existe cierto riesgo de que el neumático estalle a causa de que se desllante.

La forma en la que el TPMS tiene de avisar al conductor de que alguna de las ruedas no tiene la presión adecuada es mediante el encendido de una alerta en el cuadro de mandos. El símbolo que se emplea es la sección transversal de un neumático con un signo de exclamación en su interior como el de la ilustración 4.



Ilustración 4. Alerta de presión inadecuada de los neumáticos.

Algunos vehículos incorporan modelos de este sistema más avanzados y completos que permiten conocer en todo momento qué presión tiene cada neumático. Así es más sencillo saber cuál de todas las ruedas necesita ser atendida. En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de un vehículo que incorpora esta otra forma de visualización.



Ilustración 5. Visualización de la presión de cada neumático en un modelo avanzado de TPMS.

El sistema de control de presión de los neumáticos se puede clasificar en dos tipos, diferenciándose en la forma en la que recogen la información.

TPMS indirecto

Se conoce con este nombre ya que no mide la presión de los neumáticos de forma directa, es decir, con un sensor que nos proporcione este dato.

Este sistema se aprovecha de los sensores de velocidad de las ruedas, de forma que compara la velocidad de rotación de cada rueda y otros datos del funcionamiento del vehículo como su velocidad para determinar cuando la presión de una de las ruedas es anormal. En la actualidad, TPMS indirecto comparte centralita con los sistemas ABS y ESP.

Uno de los problemas de este método de medición de la presión es que en ocasiones puede ser algo impreciso, por ejemplo:

- Cuando al cambiar una de las llantas, esta es de distinto tamaño que el resto.
- En situaciones de baja adherencia con la calzada.

TPMS directo

En este caso sí que se emplean sensores que miden la presión de cada neumático, que en algunos casos además pueden proporcionar lecturas de temperatura de los mismos. Los datos son enviados al módulo de control donde se analizan e interpretan. Los sensores funcionan con su propia batería, sin depender de la energía del vehículo.

Cada fabricante suele tener su propio diseño de la centralita patentado, por lo que a la hora de reemplazar un sistema TPMS directo compatible con un determinado vehículo se requerirá una persona altamente conocedora de su funcionamiento particular.



En las siguientes tablas se comparan las ventajas y desventajas de ambas versiones.

Tabla 3. Ventajas y desventajas del TPMS directo.

Ventajas TPMS directo	Desventajas TPMS directo
Mayor precisión en la medida de la presión.	Más caro en comparación con el TPMS Indirecto.
No es afectado por inexactitudes causadas por las rotaciones o reemplazos de llantas.	Aunque la resincronización es simple de efectuar puede requerir el empleo de herramientas costosas.
Tras cambiar de neumáticos la resincronización es rápida.	La batería del sensor es raramente reparable, por lo que requeriría cambiar el sensor por otro nuevo.
	La electrónica del sistema varía dependiendo del fabricante lo que provoca que el servicio y reemplazo para los consumidores y talleres de automóviles sea confuso.
	Los sensores son susceptibles a daños durante el montaje y desmontado.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del TPMS indirecto.

Ventajas TPMS Indirecto	Desventajas TPMS Indirecto
Considerablemente más barato.	Puede ser impreciso si se cambia una rueda por otra algo más grande o pequeña.
Requiere menos programación y mantenimiento a lo largo de los años.	El desgaste de las llantas también puede afectar a su precisión.
Más sencillo de instalar.	Puede dar medidas erróneas en condiciones de baja adherencia
	El sistema se debe reajustar tras inflar correctamente cada neumático.

Airbag

Este sistema de seguridad pasiva del vehículo tiene la función de proteger a los ocupantes y minimizar las posibles lesiones en el momento que se produce una colisión.



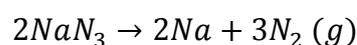
Para conseguir su propósito el airbag trata de absorber tanta energía cinética del cuerpo del conductor y de posibles pasajeros del vehículo como sea posible. De esta manera protege del choque contra los elementos del automóvil y al amortiguar reduce las posibilidades de padecer una lesión cervical. También evita que fragmentos del parabrisas impacten contra los ocupantes.

Existen distintas variedades de este sistema, diferenciados según el lugar que ocupen en el vehículo. Así se tienen:

- **Frontales:** Están situados en el volante y en el salpicadero para proteger las cabezas del conductor y el copiloto. Se activa en caso de colisión frontal.
- **Laterales:** Ubicado normalmente en el lateral del propio asiento o en ocasiones en los embellecedores de las puertas para proteger de impactos laterales. En la mayoría de modelos solo aparece en las plazas delanteras. Dependiendo del tamaño protege solo el tórax, o si es más grande también la cabeza. Este último caso está indicado para aquellos vehículos que no incorporan airbag de cortina.
- **De cortina o techo:** Protege la cabeza de impactos contra la ventanilla. Está situado en el marco de las ventanas delanteras y traseros activándose principalmente en caso de vuelco.
- **De rodilla:** Instalado en la columna de dirección protege al conductor para que no se golpee las rodillas contra ella.
- **Central:** Este tipo ya es menos común. Está ubicado entre los asientos para que los pasajeros no se golpeen entre sí en caso de colisión.
- **Peatón:** En este caso la idea es proteger al peatón en caso de choque contra el vehículo.
- **De cinturón:** Están integrados en el cinturón y tienen como cometido ampliar el área de sujeción en el momento de impacto.

Desde el año 2006 es obligatorio que los vehículos incorporen los dos airbags frontales.

Su funcionamiento es sencillo de entender. Una colisión provoca una deceleración brusca que es detectada por un sensor de aceleración. Este sensor envía una señal eléctrica para activar un detonador que provoca la salida del gas que infla la bolsa, de forma que los ocupantes impactan contra ella en el momento justo. Hay diversas reacciones que pueden tener inflar la bolsa del airbag. Una de ellas es la descomposición de la acida de sodio al aumentar su temperatura a 275 °C liberando una gran cantidad de nitrógeno.



El proceso ha de ser muy rápido. Solamente pasan entre 15 y 30 ms desde que sensor detecta el impacto hasta que comienza el inflado de la bolsa. Y en solo,

otros 20-30 ms se despliega el airbag alcanzando una velocidad de unos 250 km/h. En el momento que el cuerpo del ocupante impacta con el airbag, este último ya se está desinflando.

A modo de esquema, en la ilustración 6 se pueden ver el sistema que conforma el airbag del volante, tanto cuando está guardado como cuando esta detonado. También se pueden distinguir los distintos elementos de los que consta.

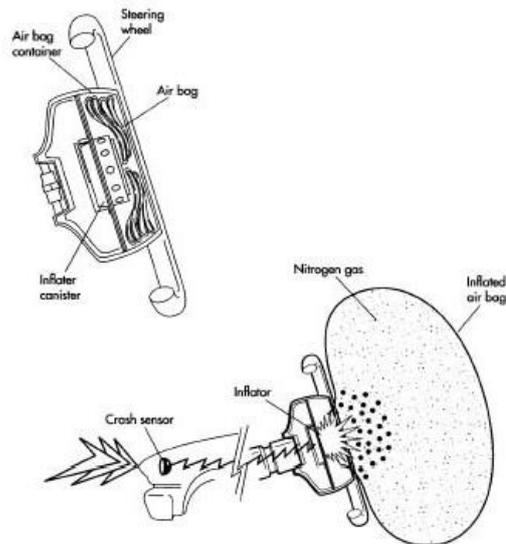


Ilustración 6. Esquema del airbag del volante.

Sistema de clasificación de pasajeros (OCS)

Este sistema alberga una variedad de funciones según su complejidad. Sin embargo, en su forma más sencilla su utilidad radica en detectar qué asientos del vehículo se encuentran ocupados. Esta información es recopilada por el sistema airbag para determinar en caso de accidente qué airbags deben activarse y así no provocar daños en el vehículo ni gastos de reparación incensarios. Para ello se emplea un sensor de peso situado debajo del asiento de modo que para que se active el airbag se debe superar cierto umbral.

Por otro lado, conocer qué asientos están ocupados es de utilidad en aquellos vehículos que avisan por medio de una luz o pitido de que los pasajeros han de ponerse el cinturón de seguridad.

Versiones más avanzadas incorporan sensores de presión para diferenciar si en el asiento lo que hay apoyado es un objeto o una persona.

Incluso es posible distinguir si es un niño el que ocupa el asiento. Desde que los vehículos requieren el uso de airbag, se ha reducido en alrededor de un



30% las muertes de conductor y copiloto debidas a una colisión. Sin embargo este sistema no es perfecto y, aunque en muy pocas ocasiones, puede ser su impacto en el pasajero el causante de la muerte. Si estudiamos estos incidentes en sus primeros años de implementación se ha comprobado que los más afectados eran los niños. Debido a su corta estatura el impacto del airbag les causaba fácilmente lesiones permanentes o mortales en la cabeza y la columna vertebral. Algunos fabricantes como Mercedes o Mazda tienen desarrollados sistemas que utilizan la información del peso del ocupante y su posición en el asiento para saber si el copiloto es un niño y desactivar de forma automática el airbag.

Algo más avanzado es el sistema OCS capaz de detectar si lo que ocupa el asiento del copiloto es una silla para niños y adecuar la fuerza con la que se abre el airbag. Que haya una silla hace que el niño se encuentre más cerca del airbag, de forma que si se despliega a la aceleración a la que acostumbra el impacto sobre el niño es mayor, lo que podría causarle lesiones.

Ya por último los sistemas más complejos y modernos emplean sensores ultrasónicos para detectar la posición de cualquier tipo de pasajero y determinar si en el momento de colisionar este se encuentra muy cerca del airbag, para así saber si conviene desactivarlo o adaptar la velocidad de impacto.

Dirección asistida

Los sistemas de dirección asistida ayudan al conductor cuando este tiene que realizar un cambio de dirección disminuyendo la fuerza (par de giro) que ha de realizar sobre el volante.

Tradicionalmente se han venido empleando sistemas hidráulicos (HPS), pero en la actualidad la dirección asistida eléctrica (EPS), por las ventajas que introduce, es cada vez más común. Y es que es un sistema bastante más simplificado al eliminar muchos de los elementos de la versión hidráulica como la bomba, mangueras, la correa de transmisión y la polea. En este punto se va a focalizar la explicación en el modelo eléctrico de dirección asistida por ser el que trabaja con el sensor de par, posición angular y velocidad que se van a describir posteriormente.

Dirección asistida eléctrica

El sistema EPS aporta al conductor una asistencia variable, aumentando la fuerza de ayuda cuando la velocidad es muy baja facilitando la toma de una curva muy cerrada o cuando se tienen que realizar maniobras de aparcamiento. Por otro lado esta asistencia se reduce a velocidades altas para que el conductor tenga la necesaria sensibilidad al volante.

Aparte del mayor confort a la hora de conducir que supone, es en el apartado de la seguridad activa donde más influye debido a que mejora la capacidad de reacción del conductor.

En cuanto a su funcionamiento, el sistema de dirección asistida eléctrico tiene en cuenta la velocidad a la que se mueve el vehículo, el par aplicado por el conductor sobre el volante y su posición angular. Con estos datos y mediante su unidad de control se determina con qué potencia ha de trabajar el motor eléctrico que incorpora. Este motor hace girar un engranaje de reducción con lo que consigue disminuir par que debe aportar el conductor. En la ilustración 7 se pueden ver de forma esquemática los principales elementos del sistema.

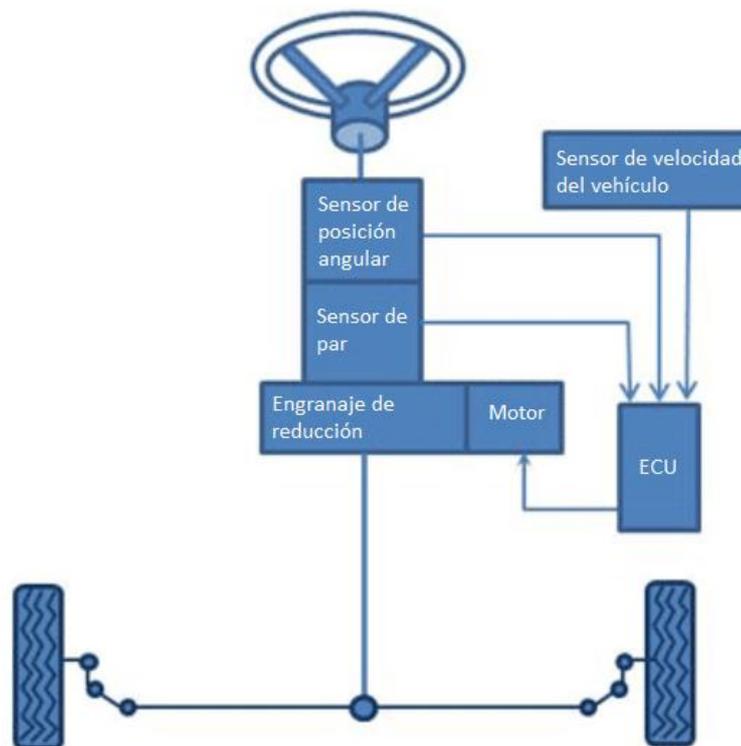


Ilustración 7. Esquema y elementos del sistema de dirección asistida eléctrico.

Por otro lado, al haber una conexión mecánica entre el volante y el mecanismo de dirección, por razones de seguridad es importante que, si hay un problema en la electrónica del sistema, no genere una situación en la que el motor impida al conductor dirigir el vehículo. Para ello el sistema EPS incorpora un mecanismo de seguridad que desconecta la alimentación al motor eléctrico cuando hay un fallo en la unidad de control.

Teniendo todo lo explicado en cuenta, la dirección asistida eléctrica tiene una serie de ventajas frente al sistema hidráulico tradicional:

- El motor eléctrico solo se pone en marcha cuando es necesario, logrando un sistema mucho más eficiente.



- Contar con menos elementos hace que sea más ligero lo que tiene como consecuencia un menor consumo de combustible.
- Utilizar un motor eléctrico hace que el sistema sea más fiable, teniendo un menor desgaste, fallos o averías.

Sin embargo, el principal problema del sistema es que cuando se produce una avería esta es más difícil de solucionar requiriendo de un técnico mucho más especializado que en el caso del sistema HPS.

Sistemas de seguridad modernos basados en dispositivos de detección de presencia

En los últimos años se han introducido numerosos sistemas de seguridad que incorporan sensores o dispositivos que detectan la presencia de otros vehículos, objetos o peatones. Su empleo está indicado para advertir de un peligro, activar otros sistemas del vehículo en caso de que haya peligro de accidente o asistir al conductor de forma continuada en el tiempo, como el control de crucero adaptativo.

A continuación se van a describir brevemente algunos de ellos.

Control de crucero adaptativo: El objetivo de este sistema es evitar accidentes manteniendo el automóvil a una distancia segura del vehículo que se encuentre por delante.

Para conseguirlo se trabaja con un sensor radar de largo alcance que detecta el tráfico y, en consecuencia, gestiona la potencia del motor para que la velocidad del automóvil coincida con la del vehículo que va por delante. También hay marcas que trabajan con láser o sistemas ópticos basados en cámaras estereoscópicas.

Si las condiciones así lo requieren también se podría activar el sistema de frenado. Esto es así gracias a la unidad de control, que recibe la señal procedente del radar y con ella calcula la distancia con el vehículo precedente y, en relación a ella, la velocidad relativa entre ambos. En el caso de que hubiese más vehículos dentro del rango de medida del sensor el sistema es capaz de distinguir cuál de ellos es el más próximo para realizarle el seguimiento.

Sistema de frenado de emergencia (AEB): Con este sistema se mejora la seguridad de dos maneras. Por un lado ayuda a evitar accidentes previendo situaciones críticas y alertando al conductor. También, en caso de que la colisión sea inevitable, reduce la gravedad del accidente reduciendo la velocidad de colisión y, en algunos casos, prepara el vehículo y los sistemas de seguridad pasiva como airbags para el impacto.



La mayoría de sistemas AEB utilizan sensores radar para identificar posibles vehículos, personas u objetos que supongan un riesgo de colisión. Esta información, junto a la velocidad a la que circula el vehículo y su trayectoria, determinará si se está o no ante una situación crítica. Si se da una situación de estas características, en la mayoría de sistemas se avisa primero del peligro y si persiste se activan los frenos. Algunos modelos de frenado se detienen cuando se detecta una maniobra de evasión por parte del conductor.

Detección de puntos ciegos: El punto ciego del vehículo, también conocido como ángulo muerto, es aquella zona de la parte trasera del vehículo que el conductor no puede ver al no estar cubierta por los espejos retrovisores. Esta zona no visible es causante de accidentes, sobretodo en zona urbana, debido a colisiones por cambiar de carril pensando el conductor que no hay ningún vehículo ocupando el carril contiguo, cuando en realidad este justo se hallaba en el punto muerto.

Para solventar este problema se emplean sensores radar de medio alcance situados en la zona trasera del automóvil para detectar si hay otro vehículo o persona cerca de esa zona no visible para el conductor. En caso afirmativo el sistema le avisa mediante una alarma.

Alerta de tráfico en la parte trasera: Sistema que avisa al conductor, mediante advertencias visuales o audibles, cuando va a salir de un estacionamiento de que hay coches que se acercan transversalmente a su vehículo para que tome las debidas precauciones.

Es particularmente útil cuando la visión está comprometida por paredes o vehículos estacionados al lado del coche. El sistema suele ofrecerse junto al de detección de puntos ciegos ya que comparten los mismos sensores radar de medio alcance, anticipando vehículos hasta una distancia de 50 metros.

Sistema anticolidión frontal, trasero y lateral: Mediante avisos sonoros, visuales o por vibración del volante o del asiento, este sistema advierte al conductor de la presencia de otro vehículo por debajo de la distancia de seguridad para que tome las medidas oportunas. El sistema puede ser instalado para que avise de vehículos que circulan tanto por delante o detrás mediante sensores radar de corto alcance o ultrasónicos. Para la colisión lateral se hace uso de cámaras capaces de predecir el objeto que va a impactar con el vehículo, incluso su tamaño.



Sistema de aviso de abandono de carril: Este sistema avisa al conductor de que su vehículo está a punto de desviarse del carril por el que ha de circular.

El sistema más común emplea una cámara montada en lo alto del parabrisas, muchas veces en conjunto con el montaje del espejo retrovisor. Las imágenes digitalizadas capturadas por la cámara se analizan para detectar las marcas que delimitan el carril y cuando el automóvil se desvía acercándose a ellas el conductor recibe una advertencia. En el caso de que se den los intermitentes, el sistema no se activa al entender que se trata de una acción intencionada.

Para tener una mejor visión de lo que sucede alrededor algunos sistemas hacen uso de un sensor radar de corto alcance situado en el frontal del vehículo.

Sistema de mantenimiento de carril: Se trata de una evolución del sistema de aviso de abandono de carril en el que si el vehículo se sale de su carril automáticamente se auto dirige de vuelta al mismo. Algunas versiones incluso avisan al conductor para que no se salga de la carretera.

Asistente de salida del vehículo: Sistema que avisa a los ocupantes de un automóvil del acercamiento de algún vehículo por detrás para advertirles de que tomen precauciones a la hora de abrir las puertas. Una forma de aviso es mediante un LED situado en el retrovisor que se activa si un sensor radar de corto alcance situado en la parte trasera del vehículo detecta la presencia de otro.

Asistente de cambio de carril: Sistema que avisa al conductor cuando este tiene la intención de cambiar de carril pero justo se aproxima otro vehículo por ese lado. Para poder hacerlo se emplea un sensor de largo alcance en la parte trasera y sensores de corto alcance en el lateral del vehículo. Además se ha de tener en cuenta la velocidad a la que se está circulando.

El sistema únicamente se activa a partir de los 30 km/h siendo sobretodo de utilidad en autovías o vías con varios carriles en un solo sentido.



Universidad de Valladolid

Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

4. Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil

A continuación se van a describir nueve de los sensores de seguridad más utilizados en los sensores de seguridad del vehículo. Para cada uno de ellos se va a detallar su funcionamiento y aplicación en el vehículo, así como otra información que se ha considerado relevante dependiendo de cada sensor.

4.1. Sensor de velocidad de las ruedas

Ubicados en el buje de las ruedas, estos sensores se encargan de determinar su velocidad de giro y en algunos casos, el sentido de cada una de ellas.

Los sensores de velocidad de las ruedas se dividen en dos grupos:

- *Sensores de velocidad pasivos*: no necesitan de alimentación para funcionar.
- *Sensores de velocidad activos*: necesitan de alimentación para funcionar.

Desde 1998 prácticamente todos los vehículos incorporan en exclusiva sensores de velocidad activos.

4.1.1. Sensor de velocidad de las ruedas pasivo

También conocido como sensor de velocidad inductivo, su principal diferencia frente a los sensores activos es que crea su propia señal de corriente alterna con el giro de la rueda.

La velocidad de la rueda es calculada a partir del intervalo de tiempo entre la señales transmitidas por el sensor.

Estructura y funcionamiento

En la ilustración 8 se pueden ver los elementos de los que está compuesto:

1. Captador
2. Entrehierro
3. Rueda de pulsos

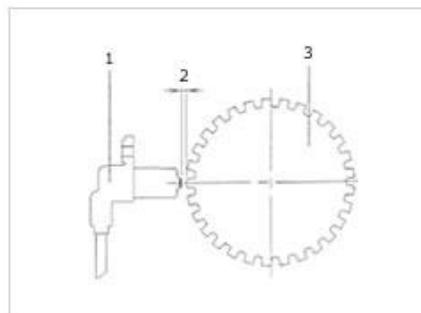


Ilustración 8. Elementos sensor de velocidad pasivo.

El captador funciona según el principio de la inducción electromagnética. En la ilustración 9 se visualizan los elementos de los que consta:

1. Imán permanente (hierro dulce)
2. Bobina
3. Rueda de pulsos
4. Cuerpo del sensor
5. Carcasa

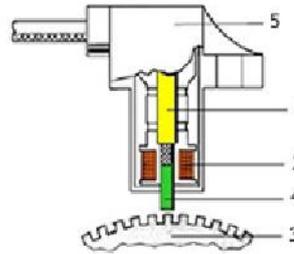


Ilustración 9. Elementos del captador.

El imán permanente crea un campo magnético constante. Una bobina rodea el cuerpo del sensor, estando este último justo encima de la rueda de impulsos la cual es dentada y está directamente acoplada al cubo de la rueda del vehículo, girando solidariamente con ella.

De este modo cuando la rueda de impulsos gira, la secuencia de espacios y dientes provoca fluctuaciones en el flujo magnético de forma dinámica. Un diente concentra el flujo de dispersión del imán, mientras que un hueco debilita el flujo magnético. Estas variaciones de flujo inducen una tensión sinusoidal medible en la bobina, que tanto en amplitud como en frecuencia varía en función de la velocidad de rotación y la distancia a la rueda dentada.

Como ya se ha mencionado, estos sensores no requieren un suministro de corriente aparte a través de la unidad de control. Sin embargo, para poder inducir una corriente eléctrica en la bobina, es necesario que esta al menos gire a unas 30 revoluciones por minuto.

Normalmente esta señal se expresa en un voltaje de pico a pico (V_{p-p}). En la ilustración 10 se puede ver cómo varía la tensión comparando dos casos:

- a. La velocidad de rotación de la rueda es constante.
- b. Velocidad de rotación de la rueda en aumento partiendo de la mínima detectable.

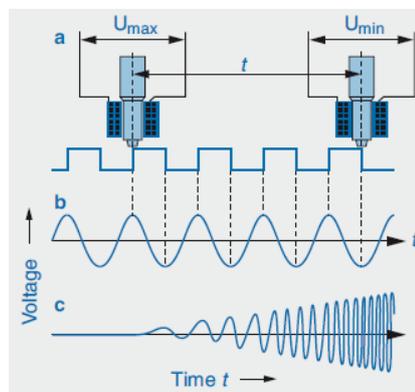


Ilustración 10. Señal transmitida por un sensor de velocidad pasivo.



4.1.2. Sensores de velocidad de las ruedas activos

Los sensores de velocidad activos se vienen utilizando desde 1999 y en la actualidad son los que mayoritariamente incorporan los vehículos. Esto se debe a que, frente a los sensores de velocidad pasivos tienen la ventaja de que detectan prácticamente todo el rango de velocidades, desde los 0,1 km/h. Incluso, los últimos modelos son capaces de detectar la dirección de rotación. Para lograr esto requieren de la existencia de un campo magnético constante, por lo que a diferencia de los sensores pasivos es que necesitan de una fuente de alimentación para poder funcionar.

Como resultado, se va a obtener una señal digital de tipo cuadrada cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de giro de la rueda, siendo su amplitud independiente a esta última. La tensión de alimentación oscila entre 4,5 y 20 voltios.

El acondicionamiento digital de la señal permite la transferencia de información adicional codificada mediante una señal de salida modulada en anchura de impulsos, pudiendo determinar:

- *Dirección de rotación de la rueda:* Característica muy útil para el sistema de Control de Ascenso de Pendientes, para el cual interesa conocer el sentido de giro de cada rueda para utilizar el frenado selectivo y así evitar que el vehículo ruede hacia atrás cuando asciende una pendiente. Los sistemas de navegación del vehículo también hacen uso de esta capacidad.
- *Reconocimiento de paradas:* Esta información también es utilizada por el Control de Ascenso de Pendientes.
- *Calidad de la señal transmitida por el sensor:* Esta característica es muy útil en caso de que se produzca un fallo y pueda ser advertido del mismo al conductor.

A continuación se van a describir tres versiones de sensores activos, describiendo su funcionamiento y características.

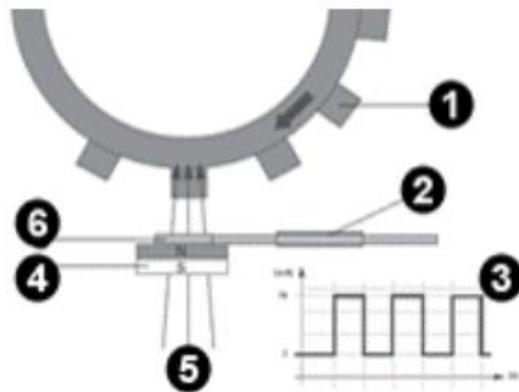
Sensor de velocidad activo Hall

Este tipo de sensor basa su funcionamiento en un aprovechamiento del efecto Hall.

Descubierto por el físico estadounidense Edwin Hall en 1879, el efecto Hall consiste básicamente en la generación de una tensión, conocida como tensión Hall, debida a la interacción entre una corriente eléctrica y un campo magnético. Cuando se tiene un semiconductor plano y estrecho por el que circula una corriente en una determinada dirección y, a su vez, un campo

magnético cuyas líneas de flujo están atravesándola perpendicularmente, se induce una tensión también en esta dirección.

Este tipo de sensor trabaja con una rueda dentada situada entre el semiconductor y un imán permanente, que gira con la rueda. De este modo lo que se logra es interrumpir de forma alternativa el campo magnético y con él, la tensión de Hall inducida. La señal de salida es la frecuencia con la que cambia el voltaje, la cual, como ya se ha mencionado, es proporcional a la velocidad de rotación. En la siguiente imagen se puede ver un esquema de los elementos que componen el sistema de detección.



1. Rueda dentada
2. Conector
3. Tipo de señal
4. Imán permanente
5. Campo magnético
6. Sensor Hall

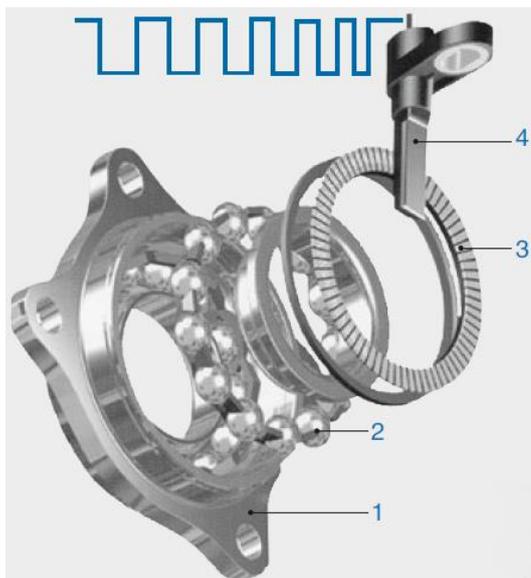
Ilustración 11. Esquema sensor de velocidad activo Hall.

Sensor de velocidad activo Hall con disco magnético multipolar

Este sensor supone una mejora respecto al anterior. Y es que, aunque la base de su funcionamiento sigue siendo el efecto Hall, se ha sustituido la rueda dentada por un disco imantado por secciones que van alternando polaridades opuestas (disco multipolar). Con esto se consiguen dimensiones del sensor más reducidas ya que no requiere integrar un imán permanente.

En la gran mayoría de los casos el disco imantado va situado en el cojinete de la rueda con el objetivo de reducir en todo lo posible el espacio empleado.

Como se puede apreciar en la ilustración 12, el montaje del sensor consiste en dos elementos de detección montados uno al lado del otro junto a un chip amplificador integrado en el ensamblaje del sensor. La salida de cada elemento sensor sube y baja de la misma manera que con un captador magnético. El amplificador se encarga de convertir esta salida a señales digitales de alta y baja tensión. Como con los anteriores, la frecuencia es proporcional a la velocidad de la rueda, y como existe señal en todo momento, se puede medir todo el rango de velocidades.



1. Cubo de la rueda
2. Rodamiento de bolas
3. Disco multipolar
4. Sensor de velocidad

Ilustración 12. Diagrama de la situación de los elementos que forman el sistema.

Por otro lado, como los elementos de detección están muy pegados, las dos señales de voltaje van a estar ligeramente desfasadas: una empieza a subir o caer, unos pocos grados después que la otra señal. De esta manera el sensor detecta la dirección de rotación. Si la señal del elemento A se retrasa con respecto a la señal del elemento B, la rueda gira en el sentido de las agujas del reloj. Del mismo modo, si B se queda detrás de A, la rueda gira en sentido contrario a las agujas del reloj.

Sensor de velocidad magnetorresistivo (AMR)

El primer sistema que utilizó este tipo de sensor para medir la velocidad de las ruedas fue el sistema de frenado “Continental Teves Mark 20” en 1990. Su principal novedad es que era capaz de activar las pinzas de freno sin la necesidad de que el conductor pisase el pedal.

Estos sensores basan su funcionamiento en el efecto magnetorresistivo. De forma simplificada, es la propiedad que posee un material para cambiar su resistencia eléctrica cuando se le aplica un campo magnético externo. La cualidad de la magnetorresistividad se explicará detalladamente más adelante, cuando se desarrollen los sensores magnetorresistivos de forma individual.

Este modelo de sensor de las ruedas también se monta justo por encima de un disco magnético multipolar, que igual que el anterior consiste en una rueda imantada por secciones que gira junto a la rueda del vehículo. A medida que el disco gira, se producen cambios de polaridad en el flujo magnético. Por el

principio de la magnetorresistencia, también varía la resistencia del circuito y con ella la intensidad que circula por el mismo.

Un chip regulador integrado en el sensor detecta estos cambios de resistencia y trata de mantener el flujo de corriente constante regulando el voltaje en el circuito. Esto produce señales digitales de alto y bajo voltaje que son contadas por la unidad de control para determinar en cada momento la velocidad de la rueda del vehículo.

Son casi insensibles a la posición en la que se sitúen, de esta forma siguen transmitiendo una señal fiable a pesar de que se coloquen a una mayor distancia del disco magnético multipolar.

En las ilustraciones 13 y 14 se puede ver de forma esquemática la posición del sensor en la rueda del vehículo y cómo funciona.

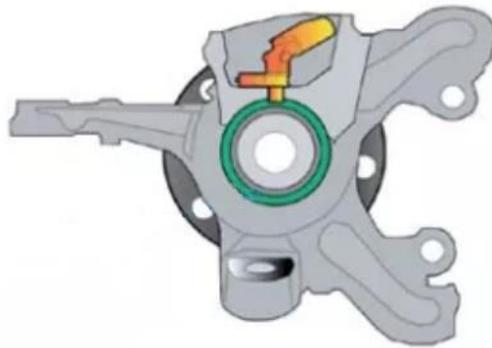


Ilustración 13. Posición del sensor AMR en la rueda de un vehículo.

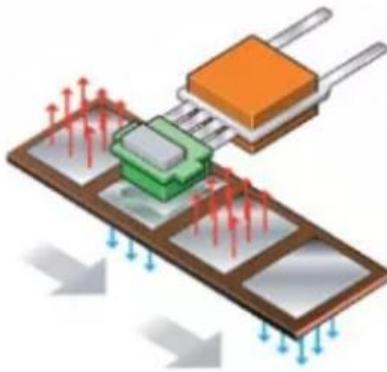


Ilustración 14. Funcionamiento del sensor AMR.



4.1.3. Ventajas del sensor activo de las ruedas frente al pasivo

Como ya se ha mencionado, en la actualidad casi con exclusividad los vehículos incorporan sensores activos. Y es que tienen una serie de ventajas muy significativas a la hora de decantar la balanza a su favor.

- Igual la característica más relevante es que los activos permiten determinar todo el rango de velocidades, desde los 0,1 km/h. Y es que esta capacidad es necesaria en los sistemas de control de tracción (ASR) en el momento de arranque del motor.
- Ocupan menos espacio y son más ligeros, sobre todo cuando el conjunto emplea un disco multipolar ya que el sensor no necesita incorporar un imán.
- Son muy poco sensibles a las variaciones de temperatura y vibraciones por lo que su durabilidad va a ser mayor.
- Menor sensibilidad ante perturbaciones electromagnéticas.
- Son capaces de reconocer la dirección en la que gira la rueda.

4.1.4. Sistemas en los que se emplea

Hay varios sistemas de seguridad del automóvil que hacen uso de los mismos sensores de velocidad de las ruedas. Estos son:

- *Sistema antibloqueo de frenos:* Gracias los sensores de velocidad permite dar a conocer al sistema cuándo una rueda ha reducido bruscamente su velocidad para actuar sobre ella modificando la presión de frenado sobre la misma y evitar que quede bloqueada.
- *Sistema de control de tracción:* Saber a qué velocidad está girando cada rueda permite a este sistema detectar si alguna está girando a mayor velocidad que las demás, lo que denota una pérdida de tracción. La central electrónica envía una señal a los actuadores y a la bomba hidráulica del sistema de frenos para reducir la velocidad de la rueda que patina.
- *Programa de estabilidad:* Junto a más sensores, los de velocidad aportan datos de velocidad de las ruedas que son útiles a la hora de determinar si la trayectoria seguida por el vehículo coincide con la que el conductor está tratando de trazar, por ejemplo, cuando se produce un giro brusco del volante para evitar un obstáculo. Y si no es así, para evitar el sobreviraje el sistema actúa para frenar la rueda que permite al vehículo mantenerse estable.
- *Corrector automático de faros:* Aporta información a la unidad de control de este sistema para saber si el coche se encuentra detenido o



en marcha. Además, en el caso del sistema de regulación dinámico, permite dar a conocer cuando se produce una aceleración o una frenada para actuar en dicho caso.

- *Sistema de dirección asistida*: Conocer la velocidad a la que circula el vehículo, junto al par torsor sobre el eje de dirección y la posición angular del volante, es necesario para que el sistema funcione y adapte el par que debe realizar el conductor sobre el volante para que sea el adecuado en cada momento.

4.1.5. Averías y diagnosis

Hay varias formas de darse cuenta de que un sensor de velocidad de las ruedas ha dejado de funcionar. La principal y más obvia es el encendido del testigo de control del ABS, el cual se enciende si se ha detectado algún fallo en el funcionamiento del mismo. Siendo bastante común que este error se deba al sensor. Otras causas de su encendido son que las pastillas de freno estén desgastadas, niveles bajos del líquido de frenos, problemas con la presión de los frenos, fallo en el funcionamiento de la bomba del ABS o aire atrapado en los latiguillos de freno.

Por otro lado, si se enciende el testigo del control de tracción también puede deberse a un fallo del sensor.

Otras casusas están directamente ligadas al mal comportamiento del vehículo ante situaciones en las que deberían actuar estos sensores:

- El vehículo requiere de más tiempo para detenerse tras un frenado brusco, las ruedas se bloquean.
- Se experimentan pérdidas de tracción cuando se está conduciendo por una superficie deslizante ya sea helada o mojada.
- Pérdidas de tracción o incluso derrape al trazar una curva pronunciada.

4.2. Sensor de inclinación o sensor de eje

4.2.1. Descripción y características

Con este sensor se mide el grado de inclinación de la carrocería del vehículo, calculando la diferencia de voltaje entre dos sensores. Un primero situado en la parte delantera del vehículo y otro situado en la parte trasera. .

En la ilustración 15 se puede ver un esquema del sensor con sus elementos diferenciados:

Universidad de Valladolid

1. Palanca giratoria
2. Eje
3. Carcasa
4. Alojamiento para los imanes
5. Estator con C.I. Hall
6. Imán anular

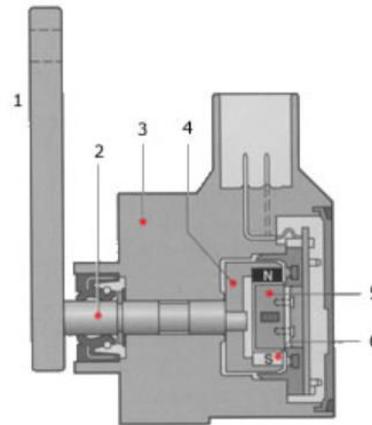


Ilustración 15. Esquema de un sensor de eje.

El sensor se ayuda del efecto hall para generar un voltaje que va a ser función de la compresión a la que están sometidos los amortiguadores del vehículo. Esta compresión se trasmite al sensor por medio de una palanca giratoria unida mediante una biela con el eje del automóvil o suspensión de las ruedas. Al girar la palanca también lo hacen los imanes con lo que varía el campo magnético que estos generan de forma proporcional al ángulo de giro y con ello también el valor de la tensión producida en el C.I. Hall.

Esta señal en forma de voltaje es transmitida a la unidad de control que es la encargada de determinar el nivel de inclinación.

En la ilustración 16 se puede distinguir el esquema de otro sensor de inclinación, en este caso aportado por la empresa de automóviles SEAT.

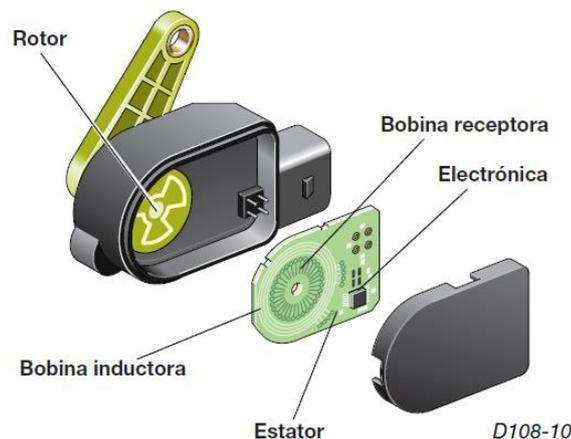


Ilustración 16. Esquema sensor de inclinación SEAT.

Ahora en lugar de imanes se dispone de una bobina inductora, encargada de generar un campo magnético, y una bobina receptora que reconoce la posición del rotor. Cuando se produce una variación en la inclinación del vehículo

cambia la posición del rotor y con ello se modifica el campo magnético generado por la bobina inductora. La bobina receptora capta esa variación del campo magnético en forma de señal eléctrica. Para transmitir esa señal a la unidad de control el sensor incorpora una electrónica que transforma esa señal en una de tipo cuadrada de 5V, siendo su periodo proporcional al nivel de inclinación del automóvil.

4.2.2. Sistemas en los que se emplea y situación en el vehículo

Este tipo de sensor está diseñado exclusivamente para ser utilizado en el sistema de corrección de faros del vehículo.

Determina la inclinación de un vehículo con el objetivo de ajustar la posición de los faros de tal forma que se garantice la seguridad de sus ocupantes y se eviten accidentes por una mala iluminación de la calzada. También se busca evitar deslumbramientos tanto a conductores que circulan en sentido contrario como a peatones.

En la ilustración 17 se ve con detalle el sensor y como está anclado a la carrocería del vehículo.



1. Fijación en la carrocería
2. Sensor de eje
3. Palanca giratoria
4. Biela
5. Eje del vehículo

Ilustración 17. Posición del sensor de eje en el vehículo.

4.2.3. Averías y diagnosis

Cabe la posibilidad de que sistema de corrección de faros de un vehículo falle porque el sensor de regulación de los faros se haya dañado y funcione de forma defectuosa. Para detectar a qué error se debe este tipo de fallo se debe comprobar que el sensor de regulación y el cable de datos no muestren signos de daños mecánicos y que su posición es la correcta.

4.3. Sensor microelectromecánico de presión (MEMS)

4.3.1. Introducción a la tecnología MEMS

Este tipo de sensor de presión está basado en tecnología micro electromecánica (MEMS), cuya característica principal es la de ser dispositivos de pequeña escala que van desde el micrómetro a varios milímetros. Además de la ventaja del poco espacio que requieren para funcionar, tienen un bajo consumo, lo que alarga su vida útil y tampoco resultan costosos.

Todos los dispositivos que emplean tecnología MEMS cuentan con una componente electrónica, que estaría formada por el microprocesador. Por otro lado estaría la componente mecánica, formada por los elementos móviles encargados de recoger información del entorno.

La aparición de la tecnología MEMS aplicada a los sensores supuso un gran avance debido su tamaño reducido que los hace más adaptables a distintas situaciones. Además, los métodos de fabricación a gran escala permiten que su coste sea bastante bajo.

Además de sensores, esta tecnología también se utiliza en estructuras miniaturizadas, microelectrónica y actuadores.

4.3.2. Descripción y características

En cuanto al sensor de presión en sí, este va a tener como objetivo medir la presión de los neumáticos.

Podríamos decir que cuenta con dos elementos principales para su funcionamiento: un puente de Wheatstone piezorresistivo y una membrana fabricada normalmente en silicio, ambos conectados.

Sobre el puente de Wheatstone se aplica una tensión de entrada constante y de las cuatro resistencias que consta, la que es variable corresponde con la membrana. Así, dependiendo de la deformación que sufra debida a la presión, variará la tensión del puente. Este valor se interpreta para determinar la presión. En la ilustración 18 se puede ver un sensor de presión MEMS de la empresa Melexis, donde en el centro del mismo se distingue la membrana.

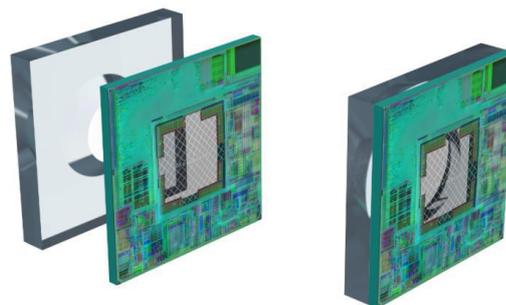


Ilustración 18. Sensor de presión MLX90819 diseñado por la empresa Melexis.

Como en el caso de este sensor MLX90819, para que los datos de la presión sean más precisos, sobre la misma electrónica en la que se apoya el sensor de presión también se incorpora un sensor de temperatura. A la hora de interpretar la presión medida puede resultar útil tener este dato. Es bien sabido que para un volumen de fluido constante y considerando el gas como ideal, la presión aumenta linealmente con la temperatura (ilustración 19).

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

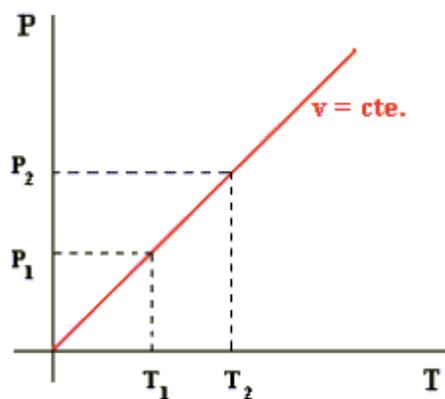


Ilustración 19. Ley de Gay-Lussac, variación lineal de la presión con la temperatura.

4.3.3. Sistemas en los que se emplea

Entre los sistemas de seguridad del vehículo, este sensor aparece en el sistema de control de presión de los neumáticos. Siendo su función determinar en cada instante de tiempo la presión de los neumáticos mientras el vehículo está en circulación. De esta forma, cuando el sistema percibe un valor fuera de los márgenes aconsejados por el fabricante, se emite un aviso al conductor desde el panel de instrumentos del vehículo.

La información recogida por el sensor se trasmite a la centralita por señales de radio que, dependiendo del país, cambia la frecuencia portadora. Siendo 433 MHz en la gran mayoría de países y 315 MHz en algunos como Estados Unidos. Una vez interpretada la información, la unidad de control la transmite al cuadro de instrumentos.

4.3.4. Montaje y situación el vehículo

El sensor de presión MEMS va atornillado a una válvula de inflado de metal que a su vez se sitúa en la llanta de la rueda. En la siguiente imagen se pueden ver con detalle los distintos elementos de los que consta la válvula y dónde va colocada.

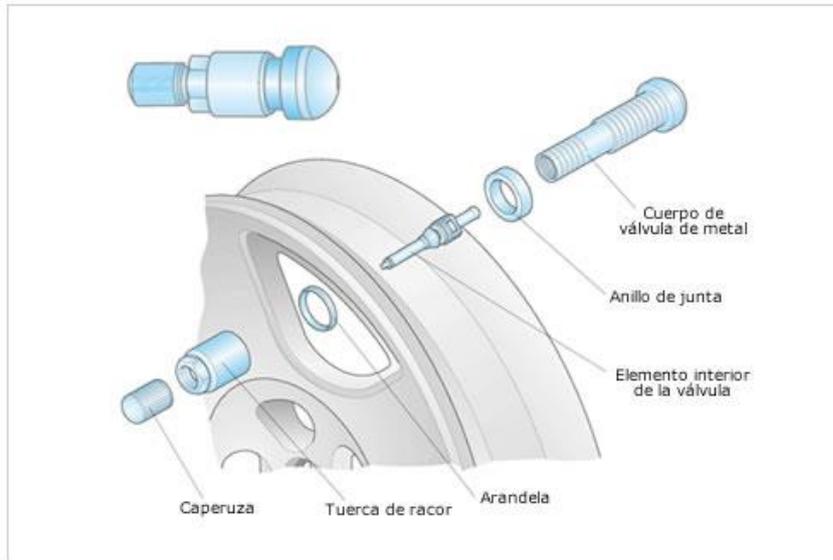


Ilustración 20. Elementos de la válvula del sensor de presión de los neumáticos.

En la ilustración 21 se puede observar el montaje al completo y en la 22 la posición del sensor en la rueda del vehículo.



Ilustración 21. Montaje sensor de presión de los neumáticos.



Ilustración 22. Situación del sensor en la rueda del vehículo.



4.3.5. Diagnóstico de fallos cuando el sensor de presión MEMS trabaja en el TPMS

Diferentes situaciones pueden afectar a que el sensor no funcione correctamente, en la mayoría de casos por interferencias en la señal de radio, al transmitir la información del sensor a la unidad de control:

- Cuando se sitúa un aparato cerca del vehículo que trabaja con la misma radio frecuencia.
- Algunos aparatos metálicos de gran tamaño si se sitúan cerca del sensor pueden bloquear las señales de radio, como pudiera ser con un electrodoméstico.
- Cuando se le acaba la batería del sensor.
- Cuando se adhiere a las ruedas un exceso de nieve o hielo.
- El uso de cadenas también puede afectar a la lectura del sensor.

4.4. Sensor microelectromecánico de rotación (MEMS)

El funcionamiento de este sensor está basado en el uso de un giroscopio para medir la velocidad angular alrededor de uno o varios de los tres ejes del vehículo. Tomando como plano x-y la base del mismo.

Un modelo básico de este sensor está compuesto de un cuerpo oscilatorio que se extiende en el plano x-y, fijado de forma que la oscilación se produzca en una sola dirección, por ejemplo en el eje x. Al rotar el dispositivo alrededor del eje z, aparece la fuerza de Coriolis provocando un desplazamiento oscilante en la dirección del plano x-y contraria a la que se ha fijado. Este desplazamiento puede ser detectado y analizado mediante electrodos de medición.

El objetivo del sensor es determinar el valor de la fuerza de Coriolis y relacionarla con una tensión para luego poder ser interpretada en la unidad de control.

4.4.1. Cálculo de la fuerza de Coriolis

Los giroscopios mecánicos para medir movimientos angulares se basan en fuerzas de inercia, con independencia de cuál sea el sistema de referencia. A pesar de su alta precisión, tanto los giroscopios rotativos como los sensores ópticos basados en el Efecto Sagnac, no son útiles para aplicaciones en la automatización debido a sus altos costes.

En este caso, aunque se pierda en precisión, giroscopios fabricados con mecánica de precisión y procesos de micromecánica resultan más efectivos. Estos dispositivos sustituyen el movimiento rotativo por uno elástico-oscilatorio. De este modo, aprovechan las aceleraciones de Coriolis que se generan cuando los movimientos rotativos están acoplados a un componente oscilatorio en uno de los ejes del plano perpendicular al del eje de giro.

El principio físico en el que se basa es que cuando un objeto se encuentra en un estado de vibración tiende a seguir vibrando en el mismo plano incluso si el soporte está girando. Por el efecto Coriolis el objeto vibratorio genera una fuerza sobre el soporte que se puede medir y relacionar con la velocidad de rotación.

4.4.2. Diseño, características y funcionamiento de dos modelos de sensor de rotación

Para entender sus características y funcionamiento se van a estudiar dos posibles diseños pertenecientes a la empresa Bosch.

Sensor micromecánico de rotación MM1

En la ilustración 23 se pueden distinguir los distintos elementos que conforman este modelo de sensor de rotación.

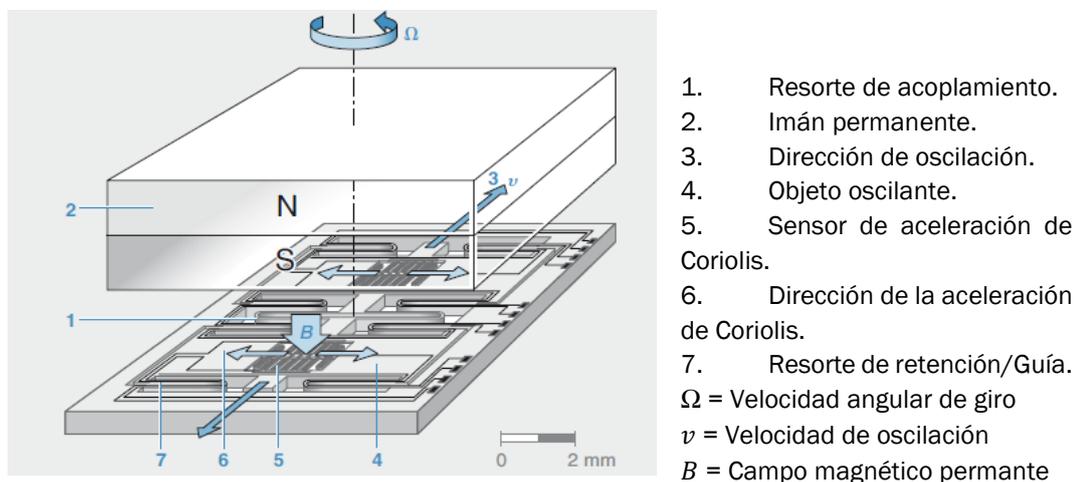


Ilustración 23. Elementos del Sensor micromecánico de rotación MM1 de Bosch.

Dos elementos oscilantes (placas de masa), oscilan en contrafase a su frecuencia de resonancia, definida por su masa y la rigidez del resorte de acoplamiento. Sobre cada uno de los elementos oscilantes se acopla un sensor de aceleración micromecánico. Este sensor se encarga de determinar la aceleración de Coriolis cuando el conjunto gira alrededor de su eje vertical a una velocidad angular Ω . Como se ha explicado en el apartado anterior, la aceleración de Coriolis es proporcional a la velocidad de giro Ω y a la velocidad de oscilación v (constante).

Para propiciar el movimiento oscilatorio de las placas se aprovecha de la fuerza Lorenz, generada por el campo magnético vertical a la base B . A su vez, este mismo campo magnético se emplea para medir directamente la velocidad de oscilación por medios inductivos.

El material con el que se fabrica el sistema de accionamiento y el sistema de sensores debe ser distinto para evitar un acoplamiento no deseado entre ambos.

Sensor micromecánico de rotación MM2

En la siguiente ilustración 24 se puede diferenciar los elementos de este otro modelo:

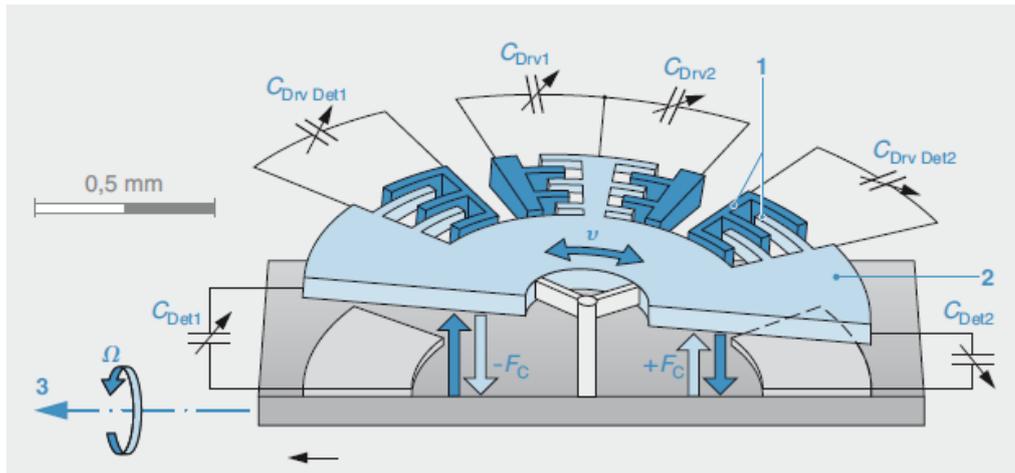


Ilustración 24. Elementos del Sensor Micromecánico de rotación MM2 de Bosch.

1. Estructura con forma de peine
2. Balancín rotativo
3. Eje de medición de la velocidad angular

C_{div} = electrodos de accionamiento

C_{det} = sensores capacitivos

F_C = fuerza de coriolis

v = Velocidad de oscilación

$\Omega = \Delta C_{det}$, velocidad angular de rotación

Este otro diseño del sensor, cambia el accionamiento magnético por un sistema electrostático. Las estructuras en forma de peine fuerzan electrostáticamente a oscilar en el plano al balancín rotativo, cuyas amplitudes se mantienen constantes ($v = cte$).

Aparecen las fuerzas de Coriolis provocando un movimiento de inclinación fuera del plano, cuya amplitud es proporcional a la velocidad de rotación Ω . Esta amplitud es detectada por unos electrodos situados debajo del balancín.

Una condición para que el sensor funcione correctamente es que debe actuar en vacío para así evitar una amortiguación excesiva.



4.4.3. Sistemas en los que se emplea

El sensor de rotación lo utilizan dos sistemas de seguridad del vehículo:

Control Electrónico de Estabilidad: En este sistema la función del sensor es medir la velocidad de giro alrededor del eje vertical del vehículo (z), y así ayudar a saber si se está produciendo un sobreviraje.

Control electrónico de inclinación: En este caso el sensor calcula la velocidad de rotación entorno a los otros dos ejes del vehículo (x e y), para detectar si se hay riesgo de que el vehículo vaya a volcar.

Airbag laterales: Conocer la velocidad de rotación en torno al eje longitudinal lateral permite conocer si el vehículo está a punto de volcar lateralmente de modo que el sistema del airbag active inmediatamente los airbags laterales.

4.5. Sensor de aceleración

El sensor de aceleración va a aportar la información de cómo varía la velocidad a la que se mueve el vehículo, lo cual va a resultar de mucha utilidad en varios de sus sistemas de seguridad.

La aceleración es una magnitud vectorial, que por tanto cuenta con dirección y sentido. Sus unidades en el SI son m/s^2 , aunque para muchas aplicaciones resulta más cómodo indicarla como múltiplo de la aceleración de la gravedad, “g”. Es decir:

$$1g = 9,81 m/s^2$$

Como todos los sensores de aceleración basan su funcionamiento en la segunda ley de newton, que relaciona fuerza, aceleración y masa de la siguiente forma:

$$\vec{F} = m * \vec{a}$$

Para poder determinar el valor de la fuerza va a ver diseños que miden desplazamientos, mientras que otros se centran en detectar esfuerzos mecánicos.

En un primer momento los sensores de aceleración enfocaban su funcionamiento en medir los desplazamientos de una masa inercial unida a unos resortes que amortiguaban su movimiento al acelerarse. De esta forma, calcular la aceleración es bastante simple. La fuerza del muelle se puede deducir a partir de su constante de rigidez “k” y el desplazamiento de la masa.

$$\vec{F} = K * \vec{x}$$



Despejando la aceleración de la segunda ley de Newton se la puede dejar en función de dos constantes (K y m) y el desplazamiento de la masa.

$$\vec{a} = \frac{k * \vec{x}}{m}$$

Si se sigue la nomenclatura de definir la aceleración como múltiplo de la aceleración se puede determinar que el rango de medida de este tipo de sensores comprende desde 1g hasta 400g.

En este apartado se van a describir cinco modelos de sensor de aceleración.

- Sensor de aceleración capacitivo de silicio y fabricado por micromaquinado.
- Sensor de aceleración capacitivo de silicio y fabricado por micromecanica de superficie.
- Sensor de aceleración de efecto Hall.
- Sensor de aceleración piezoeléctrico.
- Sensor de impacto (Airbag)

4.5.1. Sensor de aceleración MEMS capacitivo de silicio fabricado por micromaquinado

Características y funcionamiento

Es el más común dentro de los sensores de aceleración MEMS. En cuanto a su aplicación este sensor va indicado sobre todo a mediciones de rangos de medición bajos (< 2g), pero que requieren una precisión alta.

Su funcionamiento primordialmente se basa en el empleo de un acelerómetro capacitivo y un sistema electrónico. Se trata de medir la relación entre la capacitancia y la aceleración.

El sensor lo podríamos dividir en tres partes claramente diferenciadas:

- El resorte con la masa cuya base esta metalizada.
- La placa base que incorpora el sistema de electrodos.
- La cubierta que limita mecánicamente el movimiento de la masa.

Esta disposición con más claridad en la ilustración 25.

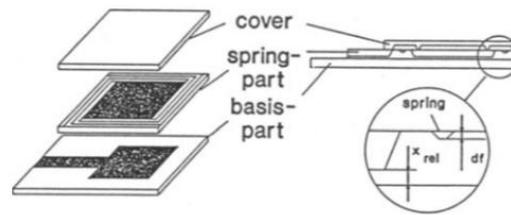
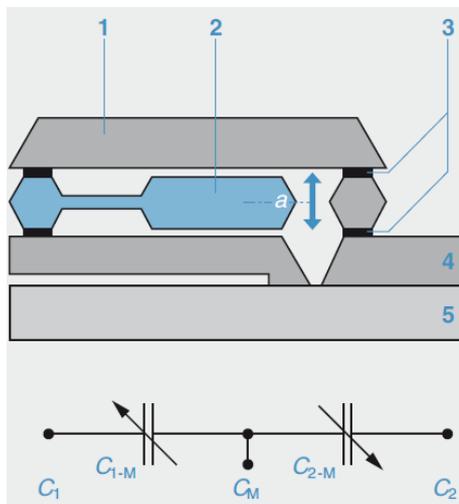


Ilustración 25. Estructura sensor de aceleración capacitivo de silicio fabricado por micromaquinado.

La masa está suspendida por unos resortes de espesor “ df ” que a su vez están unidos a la carcasa del sensor. Por otro lado se encuentra un condensador entre el sistema de electrodos y la base de la masa. Cuando se produce una aceleración la distancia (x_{rel}) entre la base metalizada del sensor y el condensador varía, y con ella también la capacitancia del condensador. El sistema electrónico integrado se encarga de medir esta variación y relacionarla con la aceleración.

En la ilustración 26 se puede observar un diseño más actual de este tipo de sensor.



1. Placa de silicio superior
2. Masa de silicio suspendida en un muelle
3. Monóxido de Silicio
4. Placa de silicio inferior
5. Sustrato de vidrio

a: Aceleración en la dirección de detección

C_m : Capacitancia medida

Ilustración 26. Elementos sensor de aceleración capacitivo de silicio diseñado por micromaquinado.

Por encima y por debajo de la masa retenida por un resorte, se sitúan dos placas de silicio con electrodos auxiliares. Esta configuración corresponde con la de un circuito de dos condensadores, de capacitancias C_{1-M} y C_{2-M} , en serie. C_1 y C_2 , corresponden con los terminales por los que se aplica la tensión alterna. En el punto C_m , situado entre ambos condensadores, se recoge la superposición de la tensión.

En la situación de reposo ($a = 0$), las capacitancias C_{1-M} y C_{2-M} son iguales ($\Delta C = 0$). Sin embargo, como ocurría en el caso anterior, ante la actuación de una aceleración en la dirección de medición la masa cambia su posición. Esto implica una variación entre la distancia de las placas superior e inferior, lo cual modifica la capacitancia de los condensadores ($\Delta C \neq 0$). Es en el punto C_m donde se registra un cambio en la señal eléctrica que es relacionado con la variación de la aceleración.

4.5.2. Sensor de aceleración capacitivo fabricado mediante micromecánica de superficie

Su designación viene del proceso que se emplea para su fabricación. La micromecánica de superficie se caracteriza por generar microestructuras a partir de una sucesión de deposición y grabado de capas estructurales sobre un sustrato. Esta es la principal diferencia con el micromaquinado, donde se crean las microestructuras por grabado selectivo dentro del sustrato.

Este tipo de microsensor de aceleración tiene una amplia gama de aplicaciones. Es por ello que dependiendo de su función el diseño varía para adecuarse a un determinado rango de medida, que se puede comprender desde 1g hasta 400g.

En la siguiente imagen se puede ver un esquema del sensor con los elementos que lo componen.

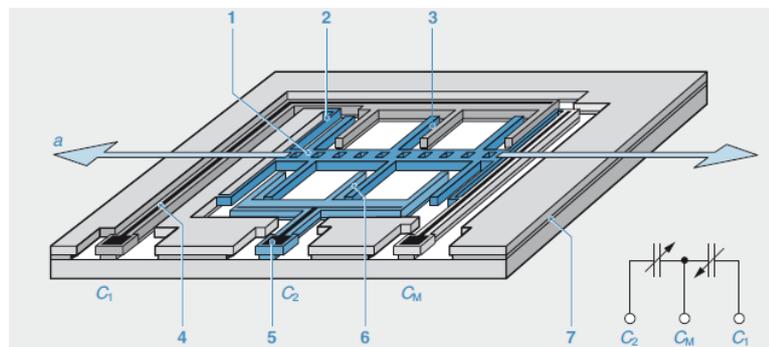


Ilustración 27. Elementos sensor de aceleración capacitivo de silicio fabricado mediante micromecánica de superficie.

1. Masa sísmica de suspensión elástica horizontal y electrodos
 2. Resorte
 3. Electrodos capacitivos C_1
 4. Pista conductora de aluminio
 5. Almohadilla de fijación
 6. Electrodos capacitivos C_2
 7. Óxido de silicio
- a: aceleración en el sentido de la detección
 C_m : Capacidad medida



Como se puede comprobar, el principio de su funcionamiento sigue siendo una masa unida a un resorte para conseguir que variando la posición de la masa con la aceleración también lo haga una capacitancia medible.

Para ello, como se puede ver en la imagen anterior, la masa junto a los electrodos que tienen forma de peine se conectan mediante resortes a los puntos de anclaje en el núcleo del sensor (posición 1). Por otro lado, muy cerca de estos electrodos fijos se encuentran otros electrodos, también con forma de peine pero esta vez fijos (3,6). Esta disposición da lugar a una conexión en serie de dos condensadores diferenciales C_1 y C_2 . De esta manera, aplicando tensiones alternas en fase opuesta se puede medir la superposición de las tensiones en el punto C_m entre los condensadores.

De este modo se consigue que cuando se produzca una aceleración en el sentido de detección la distancia entre los electrodos fijos y móviles varíe, y así lo hará también la capacidad de los condensadores C_1 y C_2 , provocando el consiguiente cambio en la señal eléctrica. El sensor se monta junto a la electrónica de evaluación se encarga de ampliar esta señal, filtrarla y digitalizarla para después transmitirla a la unidad de control para que allí sea analizada.

4.5.3. Sensor de aceleración de efecto Hall

Aprovechando el efecto Hall, este tipo de acelerómetros mide las variaciones de voltaje resultantes de que se produzca un cambio en campo magnético.

Para relacionar las variaciones del campo magnético con la aceleración se monta un imán sobre una masa unida a un muelle. Junto al sistema masa-muelle se encuentra un conductor por el que circula un corriente. De esta manera, al variar la posición del imán debido a las variaciones en la aceleración, también cambiará el valor del voltaje en los extremos del conductor. En la ilustración 28 se puede ver un esquema de este sistema y en la 29 la estructura real de un sensor de aceleración Hall.

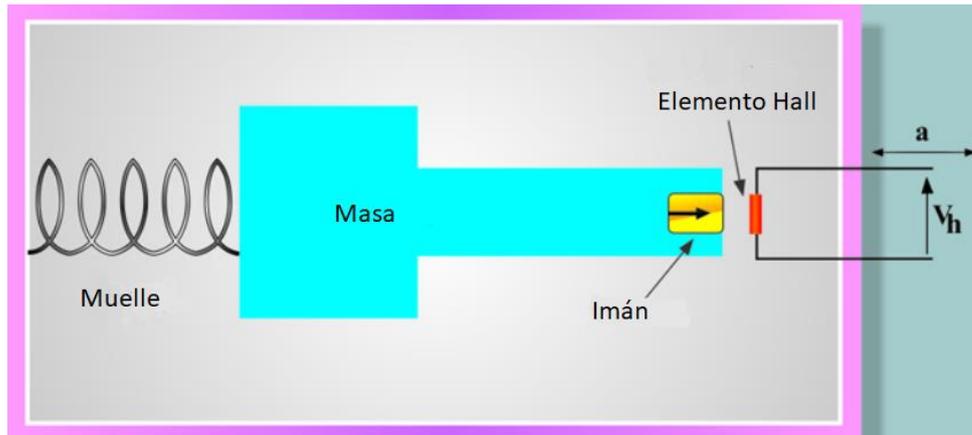


Ilustración 28. Esquema del funcionamiento un sensor de aceleración Hall.

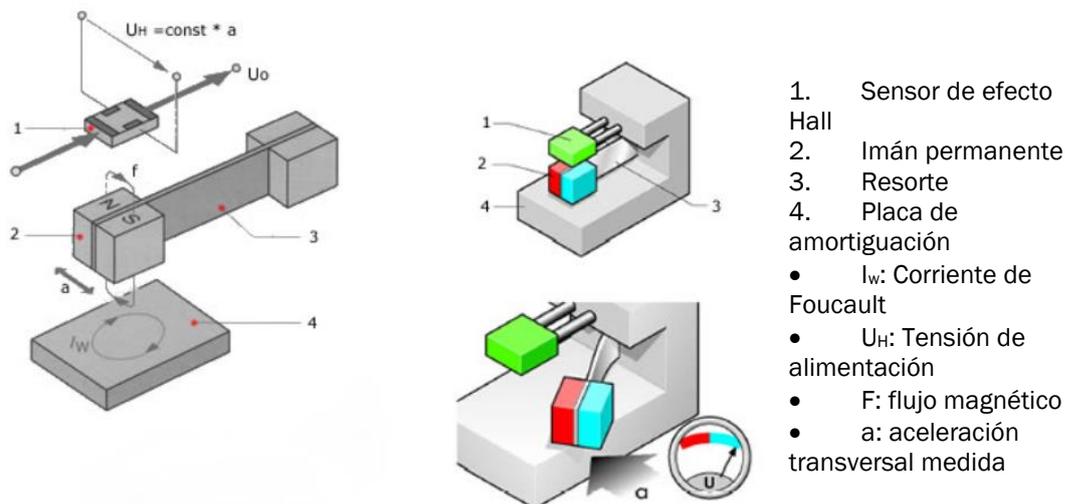


Ilustración 29. Estructura y elementos que conforman un sensor de aceleración Hall

Fijándose en la ilustración 29 se puede ver como el imán se mueve en función de la aceleración gracias a que está unido a un muelle. Sobre el mismo se encuentra en una posición fija el sensor Hall, que incluye el conductor y la electrónica de evaluación para determinar la tensión Hall, U_H , en cada momento. Esta tensión es generada por el flujo magnético (F), provocado gracias al movimiento del imán. La electrónica incluida en el sensor se encarga de evaluar estas variaciones en la tensión Hall y transmite una tensión de salida directamente proporcional a la aceleración que está ocurriendo.

El campo de medición de este tipo de sensor de aceleración es de alrededor de 1g.

4.5.4. Sensor de aceleración piezoeléctrico

La característica principal de este sensor es el uso de un elemento piezoeléctrico. Este tipo de materiales tiene la capacidad de, cuando se les somete a una deformación física, cambiar su estructura cristalina y con ello sus propiedades eléctricas. Es decir, al ser sometidos a tensiones mecánicas, su masa se polariza apareciendo una diferencia de potencial medible.

En la ilustración 30 se ve de forma muy esquemática el principio de funcionamiento de este sensor, donde en amarillo aparece el material piezoeléctrico polarizado al ser presionado de manera transversal.

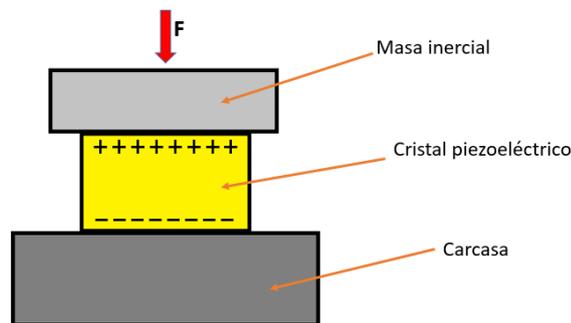


Ilustración 30. Efecto piezoeléctrico.

Una posible configuración de este sensor sería la de las ilustraciones 31 y 32.

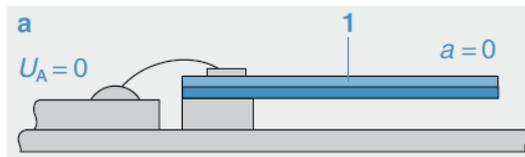


Ilustración 31. Sensor piezoeléctrico cuando $a = 0$.

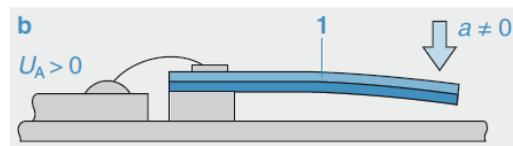


Ilustración 32. Sensor piezoeléctrico cuando $a \neq 0$.

Parámetros asociados a las ilustraciones 31 y 32:

- a = aceleración
- U_a = Tensión
- 1 → Elemento compuesto de dos capas piezoeléctricas de polaridad opuesta

Al flectar debido a la actuación de una aceleración una de las capas va a estar sometida a tracción y la otra a compresión. Por el efecto dieléctrico ya mencionado se genera una diferencia de potencial fácilmente medible, ya que

las superficies que están en contacto con el elemento piezoeléctrico actúan como electrodos de los que se recoge el voltaje de salida.

Como se puede apreciar, una ventaja de este tipo de diseño es que no requiere el empleo de una masa sísmica.

4.5.5. Sensor de impacto

Dentro de los sensores de aceleración, se pueden diferenciar dos tipos de sensores diseñados específicamente para trabajar junto al sistema de airbag del vehículo. De forma más concreta los que se van a describir detectan impactos frontales. Al igual que el resto de sensores de aceleración enfocados en esta función, la idea es detectar una deceleración brusca y transmitir una señal a la unidad de control del sistema para que active los airbags oportunos.

Sensor de masa

Este sensor genera un impulso eléctrico cuando detecta una deceleración brusca. Su funcionamiento es bastante sencillo de entender. Si se produce una colisión, la masa de detección (bola metálica) tenderá a mantenerse en la velocidad del vehículo y chocará con contactos (ilustración 33). El resultado es el cierre del circuito, lo que genera una señal eléctrica que es enviada e interpretada por la unidad de control.

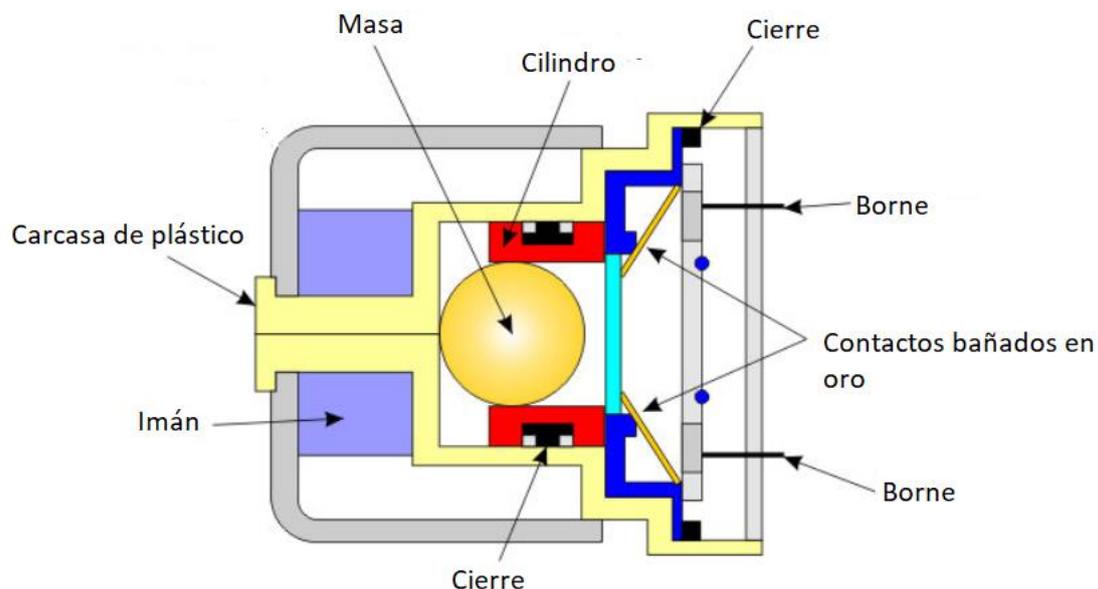


Ilustración 33. Esquema de un sensor de inercia con masa esférica.

Sensor tipo rodillo

El funcionamiento de este tipo de sensor es muy similar al anterior. Se trata de conseguir que, aprovechando la inercia que supone la deceleración debida a

una colisión, un elemento móvil modifique su posición de tal manera que se logre generar una señal eléctrica.

En este caso se dispone de un elemento cilíndrico y metálico enrollado en forma de espiral. Por la inercia cuando se produce la deceleración, este se desenrolla contactando con el terminal eléctrico y cerrando el circuito. En la ilustración 34 se puede ver el proceso de forma esquemática.

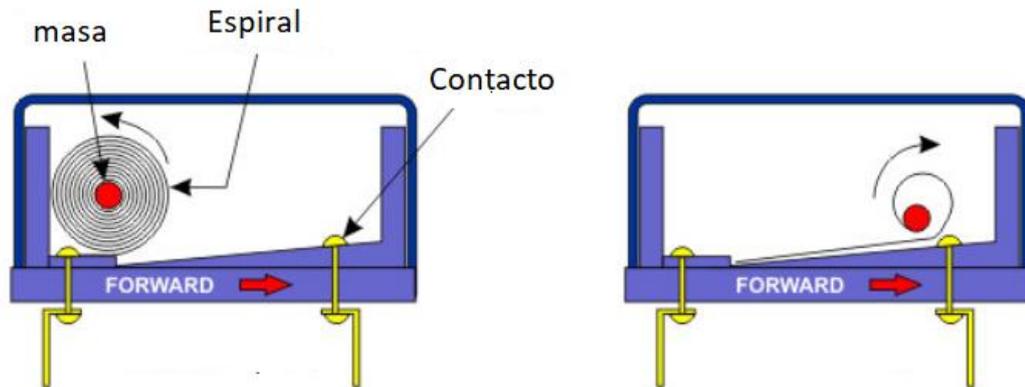


Ilustración 34. Elementos y funcionamiento del sensor de choque tipo rodillo.

4.5.6. Sistemas en los que se emplean los sensores de aceleración capacitivos fabricado por micromaquinado y de efecto Hall y su situación en el vehículo

Los sistemas de seguridad que incorporan este tipo de sensor de aceleración son el ABS, el ESP y el TCS, siendo el mismo sensor para todos.

Su función es avisar a la unidad de control de las aceleraciones transversales que sufre el automóvil al producirse un cambio en la trayectoria. Si a esta información le sumamos la que ofrece el sensor de velocidad de las ruedas, la unidad control tendrá información en todo momento de la trayectoria real que sigue el vehículo. De este modo se puede comparar con la teórica que debería seguir y actuar en caso de que ambas difieran.

Para el caso del ESP muchas veces resulta útil emplear un sensor microelectromecánico “doble”, que combina por un lado el sensor de aceleración y por otro el sensor de rotación en un mismo módulo. Así se minimiza el número de componentes y líneas transmisoras de señales, logrando además que ocupe menos espacio en el vehículo. Esta disposición se distingue en la ilustración 35.

Para que los valores medidos sean lo más veraces posibles interesa situar el sensor lo más cerca posible del centro de gravedad. Es por ello que se suele

colocar en la columna de dirección o también debajo de uno de los asientos traseros.



a.- Aceleración en el sentido de detección
c.- Velocidad de convolución

Ilustración 35. Diseño que combina el sensor MEMS de rotación y de aceleración.

4.5.7. Sistemas en los que se emplea el sensor de aceleración piezoeléctrico, el sensor capacitivo fabricado por micromecánica de superficie y los sensores de impacto y su situación en el vehículo

Se puede encontrar este tipo de sensor en los siguientes sistemas de seguridad del vehículo:

- Airbag: En este caso el cometido del sensor de aceleración es medir deceleraciones bruscas para detectar que se está produciendo una colisión y así activar el sistema de seguridad del airbag. Dependiendo del tipo de airbag que se tenga que activar su posición varía. En el caso del airbag frontal (los únicos que son obligatorios), el sensor se puede ubicar justo detrás del radiador del vehículo en su zona superior. También, dependiendo del modelo pueden ir directamente en la unidad de control del airbag.
- Cinturón de seguridad pirotécnico: Mismo sensor que el del airbag y con la misma función de detectar cuando se produce un accidente. En este caso la respuesta de este sistema de seguridad es tensar el cinturón nada más detectarse la colisión.

4.6. Sensor de fuerza

Un sensor de fuerza se puede definir como aquel que permite obtener una señal eléctrica proporcional a la fuerza que se aplica sobre ellos.

Las formas de conseguir esta relación pueden ser muy variadas y su diseño varía dependiendo de qué utilidad se les va a querer dar. De forma general se puede hacer una clasificación diferenciando entre sensores que calculan la fuerza a partir del desplazamiento o por deformación.

Dentro de cada tipo se van a encontrar distintos principios de medida.

Sensores de fuerza por deformación:

- **Principio magnetoelástico:** Los materiales ferromagnéticos, cuando están sometidos a la acción de un campo magnético, modifican su longitud en la dirección de dicho campo. Si la fuerza aplicada es capaz de modificar el campo magnético a su vez lo hará el material ferromagnético y de ahí se puede obtener una relación.
- **Principio de galgas extensionométricas (piezorresistivo):** El efecto piezorresistivo es la propiedad de algunos materiales para los que, cuando actúa un esfuerzo sobre ellos, se deforman provocando a su vez una variación en su resistencia eléctrica. Esta información puede ser aprovechada no solo para determinar fuerzas sino también para calcular posiciones, presiones...
- **Resistencias especiales:** Es posible calcular la fuerza aplicada sobre un tipo de resistencias que dejan pasar más corriente en función de una variable externa, que puede ser la fuerza aplicada sobre ellas.

Por otra parte, los sensores fuerza de medición por desplazamiento buscan determinar cuánto se ha flectado un elemento del dispositivo cuando se ha aplicado una fuerza sobre él.

En este apartado se van a describir un modelo del sensor de fuerza por desplazamiento y el funcionamiento de los sensores resistivos.

4.6.1. Sensor de mediación de fuerza por desplazamiento iBolt (Bosch)

Este sensor, diseñado por la empresa alemana Bosch, tiene como función determinar el peso de los ocupantes de un vehículo.

Esta variable va estar relacionada con la deflexión de una viga capaz de flectar en la que, dependiendo de su amplitud de movimiento, al sentarse un pasajero se podrá determinar su peso. Para conseguirlo, el sistema emplea un imán que

genera un campo magnético permanente, por otro lado un sensor Hall (Circuito integrado Hall) calcula las fluctuaciones de campo magnético cuando, debido al movimiento de la viga, cambia la posición relativa entre el imán y el sensor Hall. Además, su circuito integrado se encarga de transformar esa variación del campo en una señal eléctrica que será enviada a la unidad de control del sistema de seguridad que corresponda.

Situando como sistema de referencia la base del vehículo, donde el eje x tiene la dirección de movimiento del vehículo y el eje z es perpendicular a la base. Es la componente z del peso la causante de la deformación. El diseño del sensor está pensado para soportar una fuerza límite, que mediante un tope protege a los elementos del sensor de sobrecargas que puedan dañarlos.

En las siguientes ilustraciones (36 y 37) se pueden ver dos disposiciones del dispositivo en función de la fuerza aplicada.

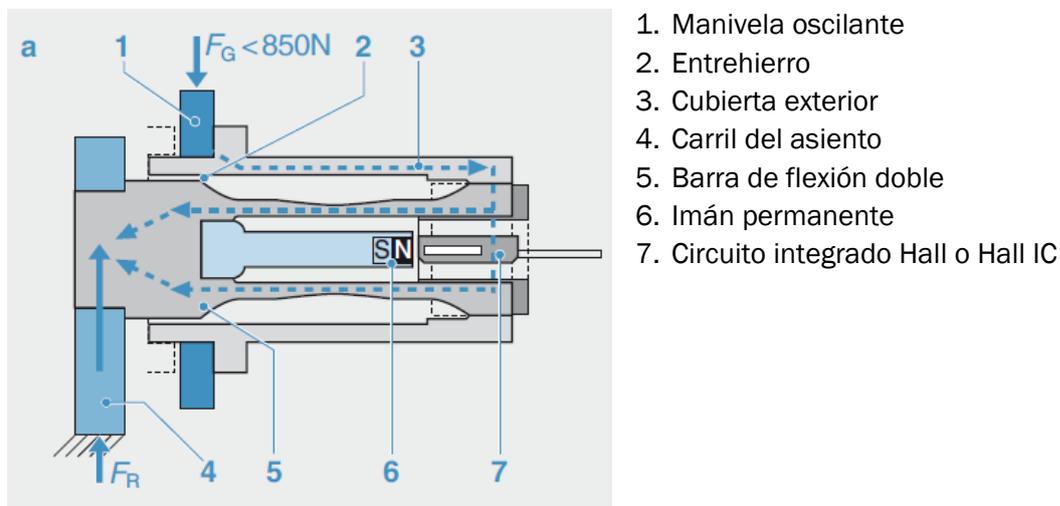


Ilustración 36. Esquema del funcionamiento del sensor iBolt cuando funciona dentro del rango de medida.

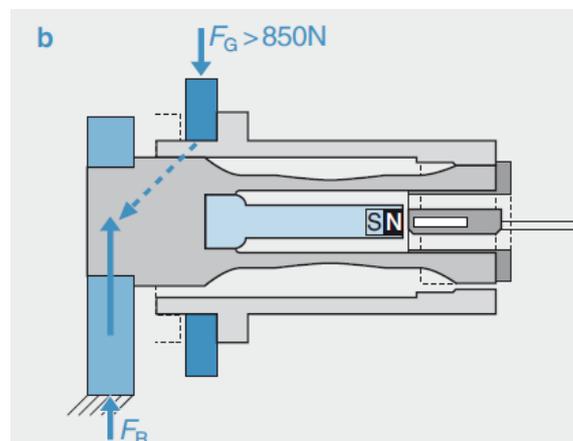


Ilustración 37. Esquema del funcionamiento del sensor iBolt cuando funciona fuera del rango de medida.



El diseño del sensor está pensado para que la relación entre la variación del campo magnético y la flexión de la barra sea lineal.

La fuerza vertical generada al sentarse el pasajero en el asiento es transmitida desde la superficie superior del asiento a la barra de flexión a través de la cubierta exterior. La barra de flexión tiene un diseño que se puede considerar como una viga de doble flexión, al tener una línea de deformación en forma de S. Los dos puntos de conexión verticales de la viga de doble flexión permanecen verticales en todo el rango de deflexión. Esto permite que el movimiento del Hall IC sea paralelo en todo momento al del imán permanente y así se garantiza que la salida de la señal sea lineal.

4.6.2. Sensor de fuerza resistivo o FSR

Las resistencias son de los elementos pasivos más utilizados en los circuitos electrónicos y eléctricos. Su función es la de reducir el flujo de corriente y disminuir los niveles de tensión en los circuitos. No todas las resistencias son iguales y las hay de diversos tipos como: resistencias fijas, resistencias variables, resistencias con bobinado de alambre o resistencias especiales. Estas últimas se caracterizan por tener un valor de resistencia no constante y dependiente de una variable externa. Su fabricación está hecha con materiales especiales, normalmente semiconductores. Entre las resistencias especiales se encuentran los fotorresistores, termistores o los sensores de fuerza resistivos que se van a describir en este punto.

Un sensor de fuerza resistivo es aquel que cambia el valor de su resistencia eléctrica en función de la fuerza o presión aplicada sobre él. Esta tecnología fue inventada y patentada por el estadounidense Franklin Eventoff en 1977. Un polímero conductor es el material que se emplea en la fabricación de este dispositivo y que tiene esta característica de reducir su resistencia con el aumento de la fuerza aplicada sobre su superficie.

En la ilustración 38 se pueden ver las capas que conforman el sensor.

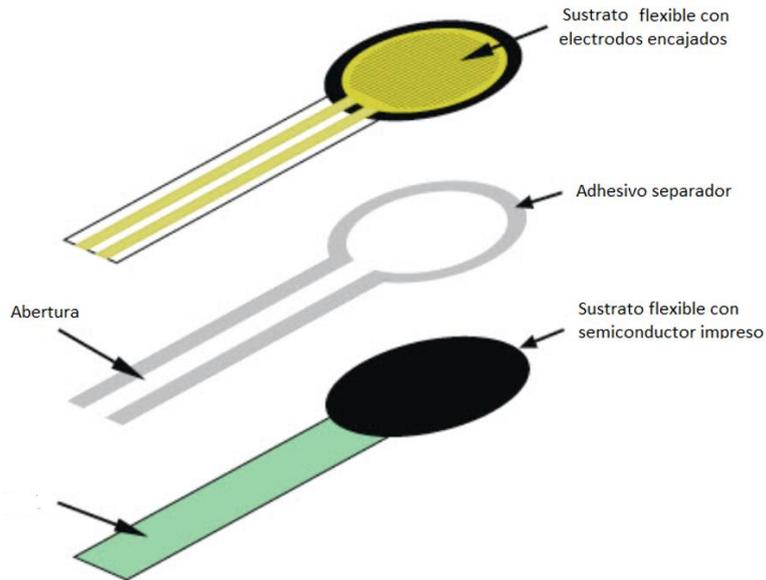


Ilustración 38. División por láminas de un sensor de fuerza resistivo.

Como ya se ha mencionado, la resistencia disminuye a medida que se aplica más presión, partiendo de que cuando no se aplica ninguna, el sensor funciona como un circuito abierto. Esto se debe a que cuanto más presión más electrodos van a estar en contacto con el semiconductor, lo que facilita el paso de corriente.

En la ilustración 39 se puede ver en forma de gráfica la relación entre la fuerza aplicada en gramos (para obtener la fuerza en Newtons habría que multiplicar por $9,81 \cdot 10^{-3}$) y la resistencia en $k\Omega$ de un determinado sensor de fuerza resistivo.

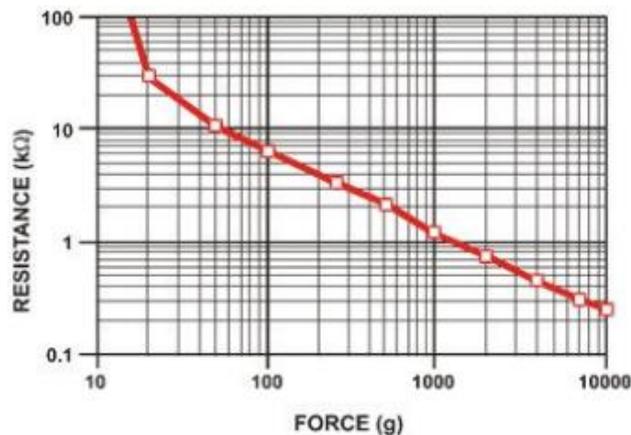


Ilustración 39. Relación entre la fuerza y resistencia en un sensor de fuerza resistivo.

Como se puede observar la relación no es completamente lineal, siendo más aproximada a una relación logarítmica. Para fuerzas de aplicación bajas se aprecia como la medida de la resistencia pasa rápidamente de infinito a $100k\Omega$, siendo en ese punto el umbral o “fuerza de ruptura”. En el otro extremo

se llega a un punto (fuerza de saturación) donde ya por más que aumente la fuerza la resistencia apenas disminuye.

Sin embargo este tipo de sensor tiene una desventaja que puede ser decisiva para algunas funciones, y es que su precisión no es muy buena. Los resultados de las mediciones pueden distar algo más del 10% del valor real.

Por otro lado si la precisión no es el objetivo, este tipo de sensor de fuerza presenta numerosas ventajas frente a otros como:

- Pueden trabajar en entornos difíciles.
- No requieren de una interfaz compleja para poder funcionar.
- Muy pequeño espesor (Menor de 0.5mm).
- Su precio es muy bajo comparado con otros sensores de fuerza.
- Buena resistencia a golpes.

A continuación en la ilustración 40, se pueden ver varios modelos de distintos tamaños y formas de este tipo de sensor.



Ilustración 40. Varios modelos de sensor de fuerza resistivo.

4.6.3. Sistemas en los que se emplea

Ambos tipos de sensor de fuerza se pueden utilizar en el Sistema de Clasificación de Pasajeros. Su función básica es la de determinar qué asientos están ocupados para así saber qué airbags no es necesario activar en caso de colisión. Además, esta información puede resultar útil para aquellos vehículos que avisan de aquellos ocupantes que están sentados pero no llevan puesto el cinturón de seguridad.

La diferencia entre el sensor iBolt y el resistivo es la información que pueden dar a mayores y su forma de determinarla.

El sensor iBolt permite saber con precisión el peso del ocupante. Y esta información la utiliza para determinar si el pasajero es un niño o un adulto y que el sistema del airbag tome las medidas oportunas. Los sensores resistivos no son capaces de calcular el peso con exactitud. Sin embargo su disposición, en la que un conjunto de sensores forma una maya, permite distinguir lo que está ocupando el asiento.

4.6.4. Situación en el vehículo

Ambos tipos de sensores van a estar situados bajo la base del asiento. Sin embargo se van a ver diferencias tanto en colocación como en número de sensores necesarios.

Sensor iBolt.

Para la correcta medición del peso del pasajero son necesarios cuatro sensores situados en la base del asiento como se ve en la ilustración 41.



1. Base del asiento
2. Sensor de peso

Ilustración 41. Situación del sensor de peso iBolt en el vehículo.

Una unidad de control integrada en el asiento analiza las cuatro señales de peso analógicas eléctricas y transmite el resultado de la clasificación a la unidad de control del airbag.

Sensor de fuerza resistivo.

Los sensores se insertan en una esterilla que se sitúa debajo del asiento del vehículo (ilustración 41).



1. Unidad de control del sistema OC
2. Unidad de control de los airbags

Ilustración 42. Situación de la esterilla de sensores de fuerza resistivos en el asiento de un vehículo.

Por su disposición, ocupando prácticamente toda la superficie del asiento, es posible diferenciar si es una persona o un objeto el que lo ocupa analizando todos los puntos de detección.

La ilustración 43 muestra la esterilla o malla que utiliza el modelo de sistema de ocupación de pasajeros perteneciente al automóvil BMW serie 3.

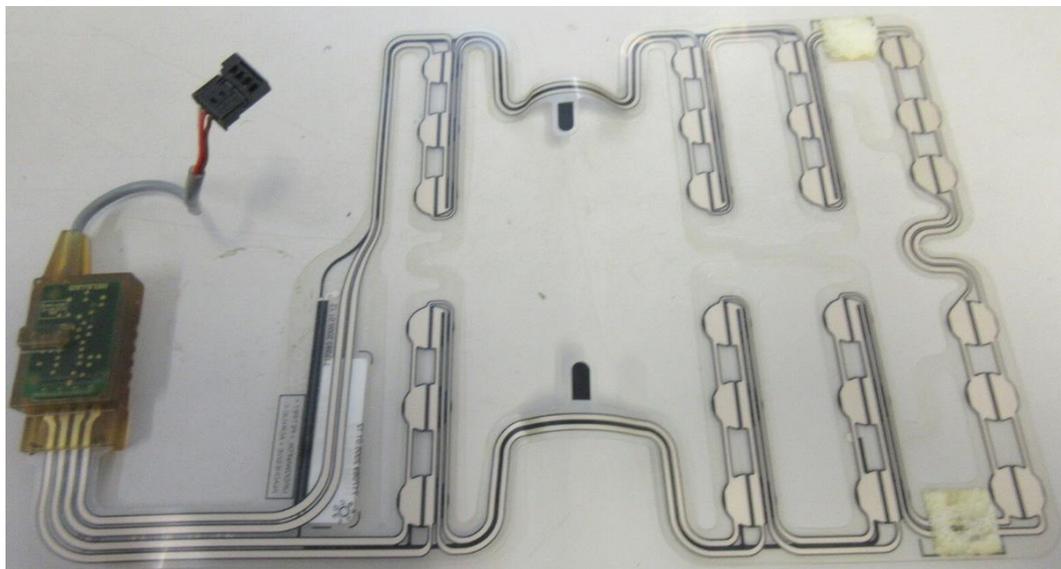


Ilustración 43. Malla sistema de clasificación de pasajeros BMW Serie 3.

4.7. Sensor magnetorresistivo anisotrópico (AMR)

La magnetorresistividad anisotrópica es la propiedad de algunos materiales en los que su resistencia eléctrica es función del ángulo que forman la dirección de la corriente eléctrica y la dirección de magnetización. En la mayoría casos la resistencia eléctrica tiene el valor máximo cuando la dirección de la corriente

es paralela al campo magnético aplicado. Dependiendo de cuál sea la intensidad del campo esta variación en el valor de la resistencia puede llegar a ser de alrededor de un 3%.

En cuanto su estructura típica, la resistencia AMR consta de un panel de silicio o vidrio sobre el que se sitúa una capa muy fina (entre 30 y 50 nm) de aleación de materiales ferromagnéticos como la aleación níquel-hierro. Esta aleación se conoce como “Permalloy” (marca comercial que designa la aleación níquel hierro).

En la ilustración 44 se muestra un esquema de los elementos de una resistencia AMR y de cómo se puede variar la dirección del campo magnético para modificar el valor de la resistencia eléctrica de la aleación ferromagnética.

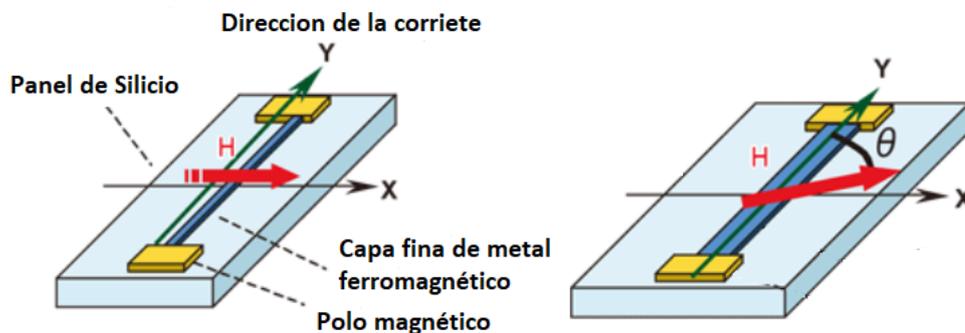


Ilustración 44. Elementos básicos de una resistencia AMR

En el diagrama de la ilustración 45 se puede observar como varía la resistencia eléctrica con el ángulo que forma la dirección del campo magnético con la corriente eléctrica. Como ya se ha mencionado, esta es mínima cuando se da perpendicularidad entre ambas direcciones.

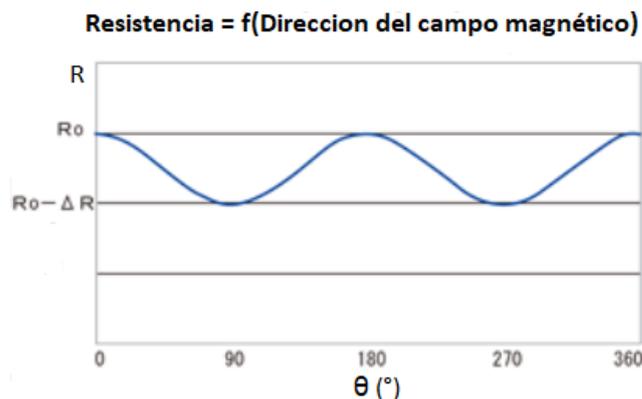


Ilustración 45. Variación de la resistencia en función de ángulo formado por las direcciones de la corriente y el campo magnético

La resistencia varía según la siguiente expresión.

$$R = R_0 - \Delta R \text{sen}^2$$

Por otro lado, el sensor AMR consiste en un circuito en conexión en puente que consta de cuatro resistencias AMR (ilustración 46).

Las cuatro resistencias están divididas en dos grupos, de manera que cada uno puede ponerse perpendicular. Así, cuando el campo magnético se aplique perpendicularmente a la corriente, la resistencia desciende y el punto neutro de tensión del circuito cambiará. Esta variación se introduce como señal de tensión analógica en el circuito integrado. En el ejemplo de la ilustración 46 el CI determina de forma automática si la entrada analógica es mayor o menor que una tensión umbral y, en correspondencia, realiza una salida digital ON/OFF.

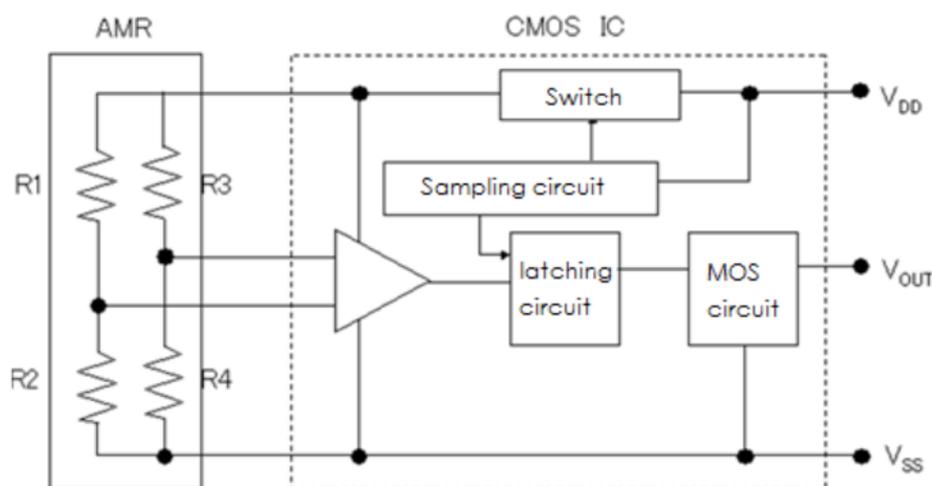


Ilustración 46. Esquema del circuito de un sensor AMR

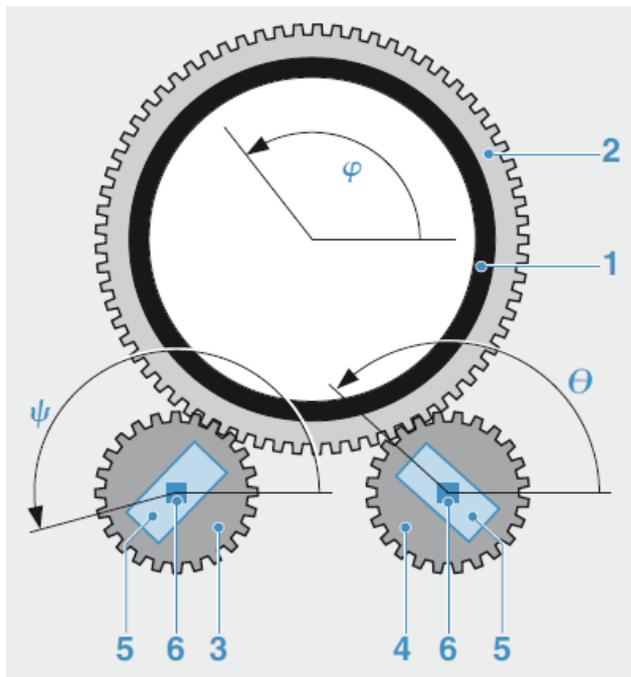
El efecto AMR es empleado por una amplia gama de sensores de diversa utilidad como la medición de campo magnético terrestre (brújula electrónica), la medición de la corriente eléctrica o para la detección de posiciones o ángulos, siendo esta última la que interesa describir con más profundidad en este apartado.

4.7.1 Sistemas en los que se emplea

El sensor AMR es empleado en la medición del ángulo de giro del volante, información que es aprovechada por el sistema de control de estabilidad del vehículo. Estos datos son importantes para que la unidad de control del sistema sea capaz de conocer en qué posición se encuentra el volante y actuar en correspondencia para mejorar la estabilidad del vehículo.

Esta información también es necesaria para aquellos vehículos que tienen sistema de dirección asistida eléctrica para ajustar la fuerza que debe ejercer el conductor para girar el volante.

En la ilustración 47 se puede ver un esquema de los elementos que, junto al sensor AMR, se emplean para determinar el ángulo de giro del volante.



1. Eje de dirección.
2. Corona dentada con “ $n > m$ ” dientes.
3. Rueda dentada con “ m ” dientes.
4. Rueda dentada de “ $m + 1$ ” dientes.
5. Imanes.
6. Sensor AMR.

Ψ : Ángulo de rotación de la rueda dentada de “ m ” dientes.

Θ : Ángulo de rotación de la rueda dentada de “ $m + 1$ ” dientes.

φ : Ángulo de rotación del eje de dirección.

Ilustración 47. Esquema del sistema empelado para el cálculo de la posición angular del volante de un vehículo

La corona dentada va unida al eje de dirección del vehículo, de forma que cuando se gira el volante se accionan las dos ruedas dentadas sobre las que se encuentra el sensor AMR. El cual va a ser el encargado de medir su posición angular. La razón por la que estas dos ruedas dentadas difieren en un diente es para poder adjudicar a cada posición del volante un ángulo perfectamente definido ($\Psi - \Theta$). Para garantizar la exactitud de la medición, el sistema está diseñado para que esta diferencia angular no supere los 360° en el total de las cuatro revoluciones que puede girar un volante. Así, esta configuración permite conocer la posición del volante con una precisión inferior a 1° . La electrónica de evaluación aplica un algoritmo matemático (método paso a paso) para calcular el ángulo de giro. Además cabe la posibilidad de utilizar una autocorrección para compensar de medición de los sensores AMR.

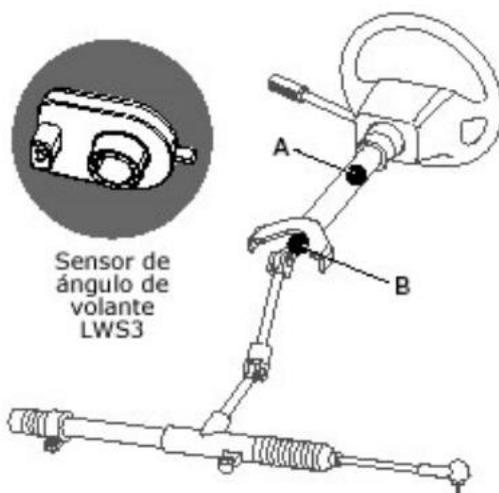
La ilustración 48 muestra el aspecto real del sistema.



Ilustración 48. Aspecto real de un sensor de ángulo de volante (modelo LWS3 de Bosch)

4.7.2. Situación en el vehículo

Como ya se ha mencionado, los sensores AMR están situados encima de las dos ruedas dentadas para medir su posición y el sistema en sí se encuentra en la columna de dirección del vehículo. En la ilustración 49 se puede ver su ubicación de forma más precisa.



A: Posición de sensor.

B: Columna de dirección.

Ilustración 49. Ubicación del sensor de medición del ángulo de giro del volante.

4.8. Sensor de par torsor

Los sensores de par torsor tienen como cometido determinar qué esfuerzo torsor actúa sobre un eje en diferentes momentos de su funcionamiento. Los sensores de medición de par se pueden clasificar en sensores de par con contacto y sensores de par sin contacto según su disposición en el eje que sufre el esfuerzo torsor y forma de medirlo.

En el ámbito del automóvil el más avanzado y utilizado por las compañías es el sensor de par sin contacto y es el que se va a estudiar en este apartado.

4.8.1. Funcionamiento.

Este tipo de sensor de par se aprovecha de sensores Hall para determinar tanto el sentido de giro como el par torsor que sufre un eje. Gracias a este dispositivo es posible detectar la diferencia de tensión que se genera en un conductor cuando se encuentra bajo la influencia de un campo magnético. El sensor forma parte de un circuito integrado (CI) donde el efecto de la fuerza magnética sobre los portadores de carga en el conductor se interpreta en forma de una tensión de salida del chip.

El diseño del sensor es básicamente un rotor magnético con elementos polares alternos que se fija al eje donde se quiere medir el par torsor. El sensor Hall fijado en el estator es el encargado de medir la variación del flujo del campo magnético, generada por estos elementos magnéticos de polaridad alterna a su paso por el sensor cuando se produce una rotación en el eje. En la ilustración 50 se puede ver de forma esquemática un posible diseño y la disposición de los distintos elementos que configuran el sensor.

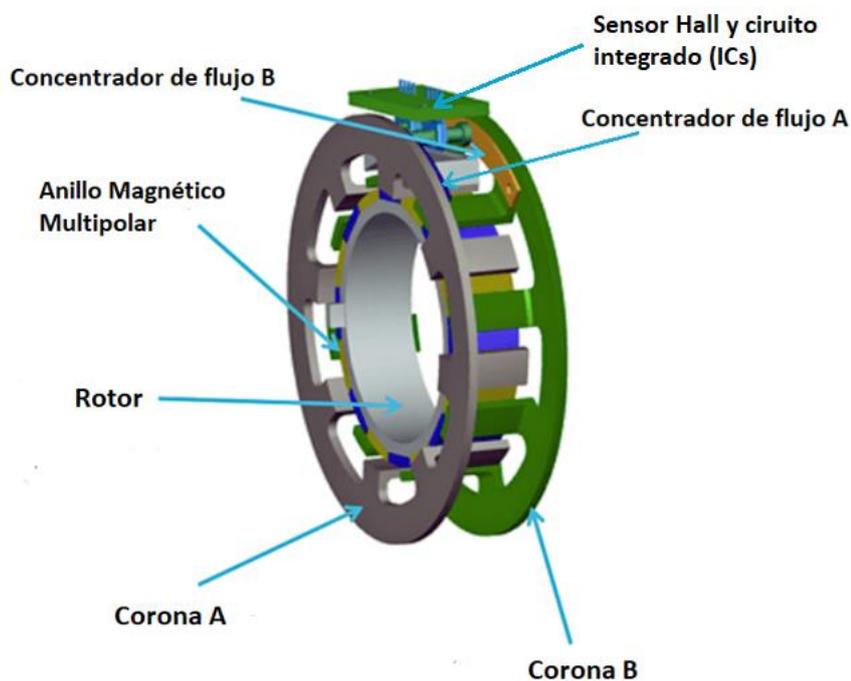


Ilustración 50. Elementos y su disposición en un sensor de par de no contacto.

Con el giro de rotor se genera un campo magnético cuya magnitud depende de la velocidad de giro del eje al que esté acoplado. Los anillos de la corona pueden capturar este flujo con ayuda de los concentradores que lo dirigen hacia un sensor Hall situado en otra placa del estator. El rotor, como ya se ha

mencionado, es solidario al eje y no tiene contacto mecánico con el resto de componentes del sensor.

La ilustración 51 muestra el diseño de un sensor de par torsor correspondiente a la compañía "TT electronics". Este diseño combina el sensor de par con el sensor de ángulo de giro del volante aprovechando que la información aportada por ambos sensores es necesaria para conocer el par aplicado al volante.

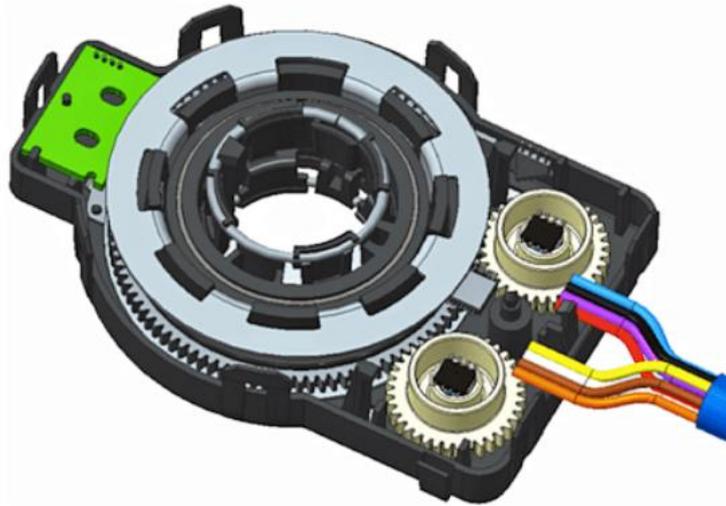


Ilustración 51. Interior del sensor de par sin contacto diseñado por "TT Electronics".

4.8.2. Sistema en el que se emplea y situación en el vehículo

El sensor de par forma parte del sistema de dirección asistida eléctrica que cada vez incorporan más vehículos. La medición del par torsor es necesaria para que el sistema sea capaz de adecuar la fuerza que tiene que ejercer el conductor sobre el volante dependiendo de la situación en carretera.

El sensor suele ir montado en la columna de dirección, en un punto intermedio para no verse afectado por posibles perturbaciones asociadas a los elementos a los que va unido el eje en los extremos.

En la ilustración 52 se muestra una posible ubicación respecto de la de otros elementos que pertenecen también a este sistema.

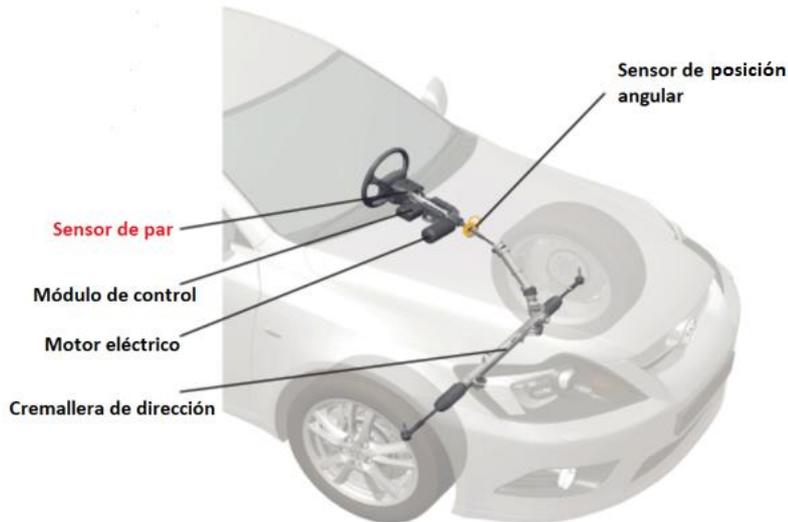


Ilustración 52. Situación del sensor de par en el sistema de dirección asistida eléctrica.

4.9. Sensor radar

Desde que se tiene conocimiento de las ondas electromagnéticas y se entienden sus propiedades para detectar y determinar distancias de objetos se las ha buscado multitud de aplicaciones. Básicamente, un dispositivo radar (Radiation Detection and Ranging) funciona enviando un paquete de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz que serán reflejadas por superficies de un objeto que se encuentre dentro de su alcance. El módulo receptor del radar es el encargado de recibir y procesar esas señales que serán comparadas con las enviadas en tiempo o frecuencia para detectar si hay un objeto dentro del rango del sensor y a qué distancia se encuentra.

Para poder realizar la comparación de la señal de salida y la recibida, el paquete de ondas es modulado. Uno de los métodos de modulación más comunes es la modulación de impulsos. Mediante este sistema se da lugar a impulsos de 10ns a 30ns (equivalente a una longitud de 3m a 10m).

El módulo receptor recibe esta señal y la demodula para que pueda ser interpretada. De esta forma se puede calcular la distancia a la que se encuentra el objeto con el que impacta la señal, sin más que medir el tiempo transcurrido desde que se emite la señal hasta que vuelve y relacionarla con la velocidad de la luz. La expresión matemática del cálculo de esta distancia sería la siguiente:

$$d = t * \frac{c}{2}$$

Donde:

- d = distancia
- t = tiempo transcurrido desde que el sensor emite y recibe la señal

- $c =$ velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s)

De manera simplificada un sistema radar cuenta con los siguientes elementos:

- Transmisor: Es en este elemento donde se crean las señales a partir de un generador de forma de onda.
- Guía de ondas: Facilita la transmisión de las señales de radar.
- Antena de transmisión: Se encarga de transferir la energía del transmisor a señales en el espacio.
- Antena de recepción: Se emplea para la dirección y captura de señales.
- Unidad de procesado: En este dispositivo las señales que le llegan al receptor son identificadas determinando entre otra información el alcance de la onda recibida.

En la ilustración 53 se puede ver la estructura de un sensor radar.

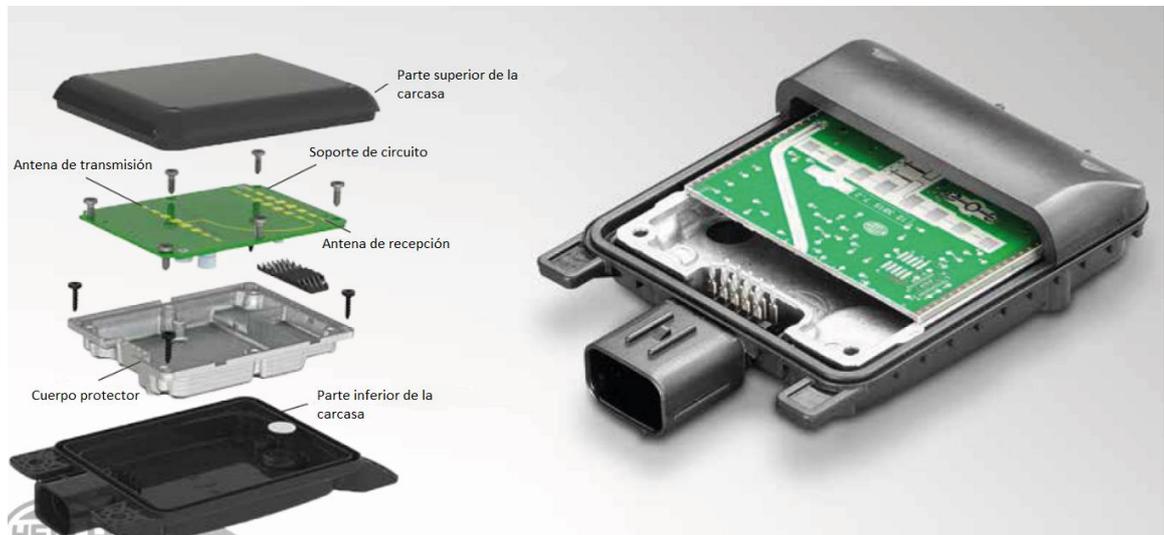


Ilustración 53. Estructura de un sensor radar correspondiente a la empresa Hella.

Los vehículos actuales cada vez incorporan más sensores de este tipo y esto es debido a que resultan muy útiles tanto en sistemas de seguridad como de confort. Además, la tendencia es una conducción cada vez más autónoma, con sistemas avanzados de asistencia al conductor que trabajan con este tipo de tecnologías para conocer con detalle lo que ocurre alrededor del vehículo.

Según su alcance se puede clasificar el sensor radar en:

- Radar de corto alcance (SRR): de 0.5 a 20 metros.
- Radar de medio alcance (MRR): de 1 a 60 metros.
- Radar de largo alcance (LRR): de 10 a 200 metros.

La ilustración 54 resume estas diferencias de distancias entre cada tipo de sensor.

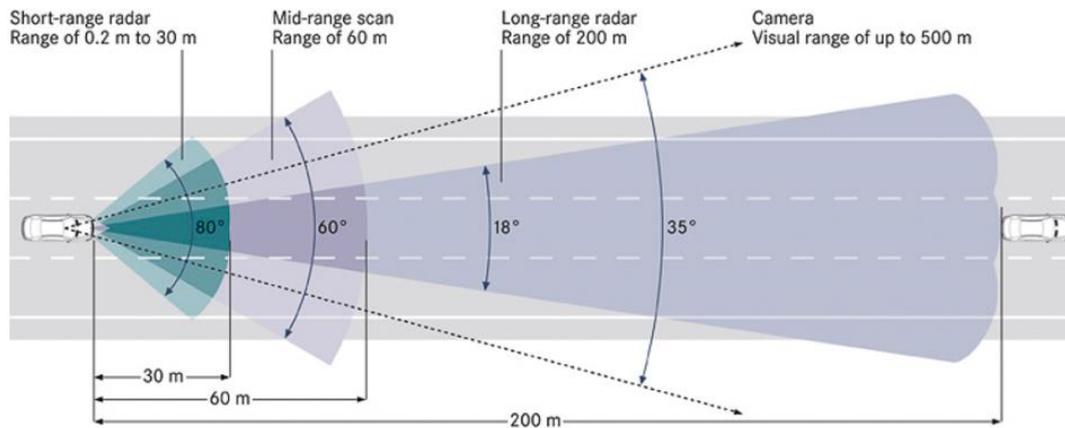


Ilustración 54. Comparativa del alcance de cada tipo de sensor radar.

4.9.1. Frecuencia

Hasta hace pocos años la frecuencia con la que trabajaban estos sensores no era común en todo el mundo, siendo en Europa de 24 GHz. Sin embargo, todos los modelos que sean fabricados a partir del año 2022 van a estar obligados a operar con frecuencias de 77-81 GHz, lo cual supone una serie de ventajas:

1. Mejor distinción de objetivos y determinación de los mismos, como se puede apreciar en la ilustración 55.



Ilustración 55. Comparación de la distinción de objetos dependiendo de la frecuencia de onda de radio.

2. Módulo más compacto.
3. Menor riesgo de interferencia al estar utilizando el mismo tipo de frecuencia en todos los sensores radar. Las ilustraciones 56 y 57 muestran con qué frecuencia trabaja cada tipo de sensor dependiendo del sistema de frecuencias escogido.



Ilustración 56. Sensores radar y su frecuencia en el sistema que se venía utilizando hasta la generalización de la frecuencia de 76-81 GHz.

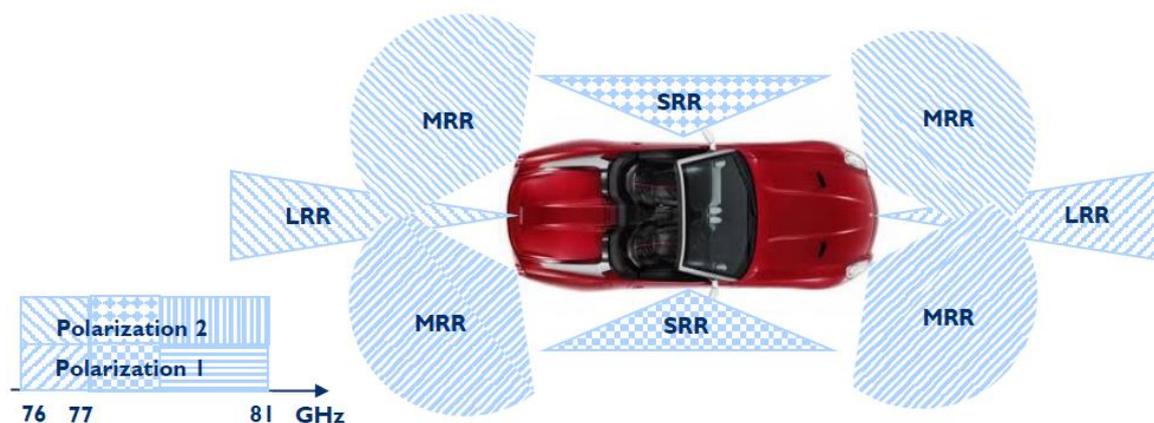


Ilustración 57. Sensores radar y su frecuencia en el sistema actual.

4.9.2. Sistemas en los que se emplean y situación en el vehículo

La función del radar en los sistemas de seguridad de un vehículo va a ser siempre la misma, detectar si hay objetos dentro de su rango y, en ocasiones, también a qué distancia se encuentran. Dependiendo del tipo de radar que se utilice y de su situación en el vehículo esa información puede ser de utilidad para una gran cantidad de sistemas de seguridad del vehículo.

Al ser una tecnología bastante nueva estos sistemas no los incorporan aún muchos de vehículos de la actualidad, pero su implementación es cada vez más común.

Tabla 5. Sistema de seguridad junto al tipo de sensor radar y su posición.

Sistema de seguridad	Tipo de sensor radar	Posición
Control de crucero adaptativo	Largo alcance	Parachoques delantero
Sistema de frenado de emergencia	Largo alcance	Parachoques delantero
Detección de puntos ciegos	Medio alcance	Dos sensores, uno a cada lado del parachoques trasero
Alerta de tráfico en la parte trasera	Medio alcance	Dos sensores, uno a cada lado del parachoques trasero
Sistema anticolidión frontal y trasero	Corto alcance	1 sensor en el parachoques delantero, 1 sensor en el parachoques trasero
Sistema de aviso de abandono de carril y mantenimiento de carril	Corto alcance	Parachoques delantero
Asistente de salida	Corto alcance	Dos sensores radar, cada uno a un lado de la parte trasera del vehículo justo por debajo de las luces
Asistente de cambio de carril	Largo alcance	Dos sensores radar, cada uno a un lado de la parte trasera del vehículo justo por debajo de las luces

En las tres imágenes que se ven a continuación se puede observar la ubicación de sensores radar en tres sistemas de seguridad del automóvil, control de crucero adaptativo (ilustración 58), asistente de cambio de carril (ilustración 59) y detección de puntos ciegos (ilustración 60).

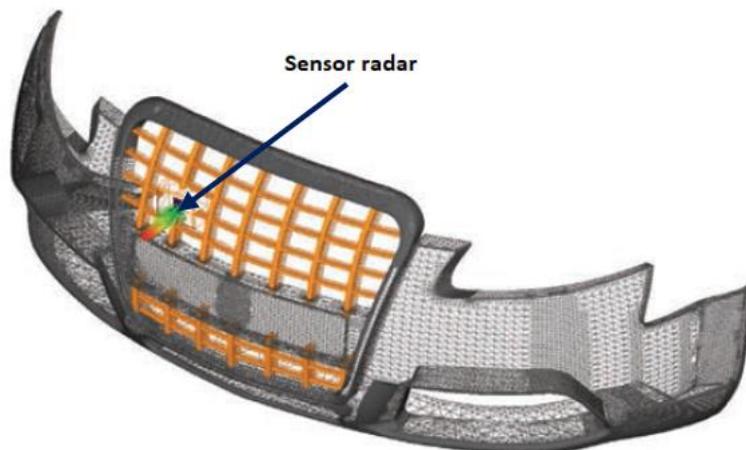


Ilustración 58. Situación del sensor radar en el parachoques delantero correspondiente al sistema de “Control de crucero adaptativo”.



Ilustración 59. Situación de los sensores de corto alcance correspondientes al sistema “Asistente de cambio de carril”.

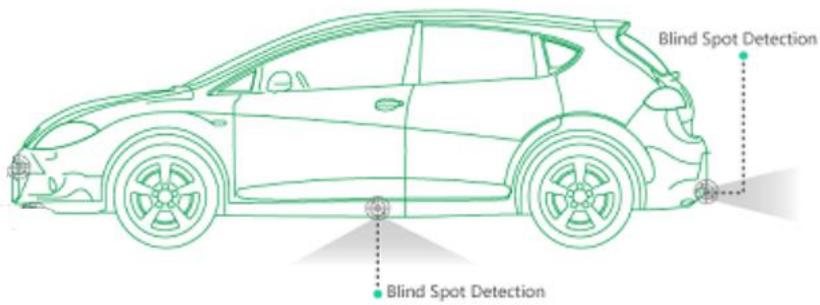


Ilustración 60. Situación de los sensores de corto alcance correspondientes al sistema "Detección de puntos ciegos".



5. Conclusiones

Tras el desarrollo del TFG se ha podido comprobar como la electrónica ha influido notoriamente en la seguridad del vehículo, estando presente en la gran mayoría de sistemas de seguridad, reinventando unos y añadiendo otros.

El sensor ha demostrado ser pieza clave, con un gran impacto en la última década donde la implementación de nuevos dispositivos, como el sensor radar, ha provocado la aparición de una gran cantidad de sistemas de seguridad basados en la detección de objetos, como el sistema de alerta de tráfico en la parte trasera o el sistema de aviso de abandono de carril. También, se ha visto como el sensor está en constante evolución. Un claro ejemplo, por todas las ventajas que aportó, es la aparición de la tecnología MEMS, la cual cambió por completo el diseño de algunos de los sensores que se venían utilizando en el vehículo, como el de aceleración, e introdujo nuevos como el de medida de presión de los neumáticos.

Se ha podido comprobar como en muchos casos los criterios de elección de un sensor para tomar una misma medida no son únicos. Las empresas han de tomar la decisión que mejor se adapte al sistema de seguridad de sus vehículos teniendo en cuenta factores como la precisión de medida del sensor, costes o el propio diseño del automóvil.

Utilizando una amplia bibliografía se ha logrado describir de la forma más completa posible cada sensor. Sin embargo, también se ha comprobado lo herméticas que son las empresas a la hora de dar información sobre datos más técnicos de sus productos. Como por ejemplo el tiempo de respuesta o, en algunos casos, las dimensiones o materiales, detalles que hubieran sido también interesantes de añadir.

Por otro lado, y ya a título personal, este trabajo ha logrado su objetivo en cuanto a ampliar mis conocimientos en el ámbito de la electrónica. Soy consciente de que lo estudiado es un apartado muy pequeño, pero suficiente para comprobar la capacidad que tiene cualquier estudiante de ingeniería para adaptarse al estudio de temas fuera de su especialidad.



Universidad de Valladolid

Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



6. Glosario de términos

ABS: Sistema antibloqueo de frenos (Antiblockiersystem).

AEB: Sistema de frenado de emergencia (Autonomous Emergency Braking).

AMR: Magnetorresistencia anisotrópica (anisotropic magnetoresistance).

CI: Circuito integrado.

EPS: Dirección asistida eléctrica (Electric Power Steering).

ERM: Control electrónico de inclinación (Electronic Roll Mitigation).

ESP: Control de estabilidad (Elektronisches Stabilitätsprogramm)

Euro NCAP: Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos (European New Car Assessment Programme).

FSR: Sensor de fuerza resistivo (Force Sensitive Resistor).

Hall IC: Circuito integrado Hall.

HPS: Dirección asistida hidráulica (Hydraulic Power Steering).

MEMS: Sistemas basados en tecnología microelectromecánica (Microelectromechanical systems).

OCS: Sistema de clasificación de pasajeros.

Radar: Radiation Detection and Ranging.

RTD: Detector de temperatura resistivo.

TCS: Control de tracción (Traction Control System).

TPMS: Control de presión en los neumáticos (Tire-Pressure Monitoring System).



Universidad de Valladolid

Sensores en los sistemas de seguridad del automóvil



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**



7. Bibliografía

¿Cómo funciona el Sistema Anti Colisión para vehículos? (2017). Retrieved June 18, 2019, from <http://www.gpstec.com.ar/funciona-sistema-anti-colision-vehiculos/>

¿Cómo funciona un Airbag? y, ¿por qué es tan efectivo? | Espacio Ford. (2017). Retrieved March 11, 2019, from <https://www.diariomotor.com/espacio-ford/2017/02/18/por-que-el-aire-acondicionado-del-coche-suelta-agua/>

¿Sabes cuántos tipos de airbag distintos podemos encontrar hoy en un coche? | www.eurotaller.com. (2014). Retrieved March 11, 2019, from <https://www.eurotaller.com/noticia/sabes-cuantos-tipos-de-airbag-distintos-podemos-encontrar-hoy-en-un-coche>

2 Types of Torque Sensors in Electronic Power Steering Systems. (2018). Retrieved June 10, 2019, from <https://blog.transtec.com/2-types-of-torque-sensors-in-electronic-power-steering-systems>

Acelerómetro sensor de movimiento o vibración - Ingeniería Mecafenix. (2017). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>

AdaptatiAdaptative Cruise Control de Volkswagen, descubre funciona. F.Tomé. (2016). Retrieved June 14, 2019, from <https://ftome.com/adaptative-cruise-control-volkswagen/>
ve Cruise Control de Volkswagen, descubre funciona. F.Tomé. (2016). Retrieved June 14, 2019, from <https://ftome.com/adaptative-cruise-control-volkswagen/>

Audi A4 exit warning - Audi Technology Portal. (2015). Retrieved June 18, 2019, from <https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/driver-assistant-systems/audi-a4-exit-warning-en>

Automatic Headlamp Range Control. (n.d.). Retrieved from http://www.netikka.net/phweb2/Auto/Omega_Xen_Kork_saar.pdf

Bixenón con luz de viraje dinámica. (2006). Retrieved from https://moodle.institutmontilivi.cat/pluginfile.php/69717/mod_resource/content/1/cd108_Bixenón_con_luz_de_viraje_dinámica.pdf

BSD Blind Spot Detection – Shadow-Stealth. (2018). Retrieved June 18, 2019, from <https://shadow-stealth.com/bsd-blind-spot-detection/>

Camós, J. (2012). ¿Qué es el TPMS o control de presión de neumáticos? - Circula Seguro. Retrieved February 16, 2019, from <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-tpms-o-control-de-presion-de-los-neumaticos/>



Carrión, L., Ochoa, D., & Valverde, J. A. (n.d.). NOTA DE APLICACIÓN ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE FUERZA RESISTIVO (FSR) CON LabVIEW. Retrieved from

http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf

Charlet, T. (2016). Symptoms of a Bad or Failing Wheel Speed Sensor | YourMechanic Advice. Retrieved June 21, 2019, from <https://www.yourmechanic.com/article/symptoms-of-a-bad-or-failing-wheel-speed-sensor>

Clemson Vehicular Electronics Laboratory: Electric Power-Assisted Steering. (2014). Retrieved June 12, 2019, from https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/ep_steering.html

Conoce el control electrónico de inclinación | Blog de conducción ecológica y eficiente. (2015). Retrieved March 6, 2019, from <http://www.conduccioneficiente.tv/conoce-el-control-electronico-de-inclinacion/>

Costas, J. (2008). Pretensores pirotécnicos y limitadores de esfuerzo - Circula Seguro. Retrieved June 22, 2019, from <http://www.circulaseguro.com/pretensores-pirotecnicos-y-limitadores-de-esfuerzo/>

Dirección asistida eléctrica o hidráulica ¿cuál es mejor? (n.d.). Retrieved June 12, 2019, from <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2018/direccion-asistida-electrica-hidraulica-toyota>

E. George, P. (2008). How Occupant Classification Systems Work | HowStuffWorks. Retrieved June 22, 2019, from <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/ocs.htm>

Electronic Power Steering | KnowYou Parts. (2014). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.knowyourparts.com/technical-resources/electrical/electronic-power-steering/>

Euro NCAP | Autonomous Emergency Braking. (2015). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-rewards-explained/autonomous-emergency-braking/>

Fidalgo, R. (2015). Qué es el sistema TPMS de control de presión de neumáticos. Retrieved June 21, 2019, from <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/que-es-el-sistema-tpms-de-control-de-presion-de-neumaticos>



Flores Corzo, V. (2013). ¿Qué es el ERM, o control electrónico de inclinación? - Circula Seguro. Retrieved June 22, 2019, from <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-erm-o-control-electronico-de-inclinacion/>

Force Sensing Resistor - How it Works and its Applications. (2016). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.elprocus.com/force-sensing-resistor-technology/>

From Technologies to Markets Report Sensors and Data Management for Autonomous Vehicles. (2015). Retrieved from www.yole.fr

Fundamental principle | AMR Sensors (Magnetic Sensors) | Murata Manufacturing Co., Ltd. (n.d.). Retrieved April 29, 2019, from <https://www.murata.com/en-us/products/sensor/amr/basic/principle>

Gordon, J. (2008). Active Wheel Speed Sensors | Search Autoparts. Retrieved June 21, 2019, from <https://www.searchautoparts.com/motorage/training/active-wheel-speed-sensors>

How does lane departure warning work? - ExtremeTech. (2017). Retrieved June 18, 2019, from <https://www.extremetech.com/extreme/165320-what-is-lane-departure-warning-and-how-does-it-work>

Howard, B. (2013). What is adaptive cruise control, and how does it work? - Page 2 of 2 - ExtremeTech. Retrieved June 22, 2019, from <https://www.extremetech.com/extreme/157172-what-is-adaptive-cruise-control-and-how-does-it-work/2>

Kaur, K. (2012). Automotive Airbag Sensors. Retrieved June 22, 2019, from <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=40>

Lane change assist | HELLA | HELLA. (2018). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.hella.com/techworld/za/Technical/Car-electronics-and-electrics/Lane-change-assist-41856/#>

Lane Keeping Assist System (LKAS): My Car Does What. (n.d.). Retrieved June 18, 2019, from <https://mycardoeswhat.org/safety-features/lane-keeping-assist/>

Laukkonen, J. (2019). What Are Smart Airbag Systems in Cars? Retrieved April 17, 2019, from <https://www.lifewire.com/how-smart-airbags-save-lives-534818>

LEY DE GAY-LUSSAC (relación entre la presión y la temperatura a volumen constante) | leyes de los gases. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://leyesdelosgases.wordpress.com/2011/02/15/22/>



Lukkarinen, S. (2015). Acceleration sensors - Sensor Technology - Metropolia Confluence. Retrieved June 22, 2019, from <https://wiki.metropolia.fi/display/sensor/Acceleration+sensors>

Massó, M. (2015). AKSE. Desconexión automática del airbag | Blog de Matias Massó. Retrieved April 17, 2019, from <https://www.matiasmasso.es/blog/2015/02/akse-desconexion-automatica-del-airbag.html>

Neumaticos, detector electronico de inflado. (2014). Retrieved March 4, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/neumaticos-detector-inflado.htm>

Nice, K. (2000). Anti-Lock Brake Types - ABS Types | HowStuffWorks. Retrieved June 21, 2019, from <https://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/anti-lock-brake2.htm>

Overview | Force Sensitive Resistor (FSR) | Adafruit Learning System. (2012). Retrieved April 17, 2019, from <https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview>

Passive vs. active - Retail - Modern Tire Dealer. (2011). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.moderntiredealer.com/article/311840/passive-vs-active>

Priegue, F. (2012). ¿Cómo funciona un control electrónico de estabilidad? - Tecmovia. Retrieved June 21, 2019, from <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/05/22/como-funciona-un-control-electronico-de-estabilidad/>

Principle of the AMR sensor | AMR sensor | KOHDEN Co., Ltd. (2011). Retrieved April 29, 2019, from http://www.hkd.co.jp/english/amr_tec_amr/

Register Mazda sensors when changing tires or wheels - Retail - Modern Tire Dealer. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.moderntiredealer.com/article/312189/register-mazda-sensors-when-changing-tires-or-wheels>

Relative Integrated Pressure Sensor for Mid Pressures #Melexis. (n.d.). Retrieved February 24, 2019, from <https://www.melexis.com/en/product/MLX90819/Relative-Pressure-Sensor-Mid-Pressures-MEMS>

Relative Integrated Pressure Sensor for Mid Pressures #Melexis. (2017). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.melexis.com/en/product/MLX90819/Relative-Pressure-Sensor-Mid-Pressures-MEMS>



Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics: Systems and Components, Networking and Hybrid Drive. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Sanchez Martinez, M. (2009). 6.2. CORRECTOR AUTOMATICO DE LOS FAROS. - GT Sistema de Alumbrado. Retrieved June 21, 2019, from <https://sites.google.com/site/gtsistemadealumbrado/Home/6-faros-de-xenon/6-2-corrector-automatico-de-los-faros>

Sensor ABS y sensores de velocidad de las ruedas | HELLA. (2018). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Sensores-y-actuadores/Sensor-ABS-4074/#>

Sensores de aceleracion y vibraciones. (2014). Retrieved March 23, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores3.htm>

Sensores de posicion - automovil. (2014). Retrieved May 18, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores1-modelos.htm>

Sensores de posicion - ultrasonidos y radar. (2014). Retrieved June 18, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores1-ultrasonidos.htm>

Sensores del automovil - otros sensores. (2014). Retrieved June 22, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores8.htm>

Sensores en el automovil. (2014). Retrieved June 21, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores.htm>

Sistema antibloqueo de frenos ABS. (2014). Retrieved June 21, 2019, from http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm

Sistemas de control de tracción: tipos y cómo funcionan. (2012). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/control-de-traccion-el-acelerador-inteligente>

Surface Micromachining - an overview | ScienceDirect Topics. (2014). Retrieved March 25, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/surface-micromachining>

Tecnología MEMS. (2012). Retrieved February 24, 2019, from <http://www.cmm.org.mx/index.php/microsistemas/tecnologia-mems>

Tema 3-Sensores y Transductores. (2011). Retrieved from http://www.eudim.uta.cl/files/5813/2069/8949/fm_Ch03_mfuentesm.pdf

The Benefits of Contactless Torque and Position Sensing for Electronic Power Steering (EPS). (2018). Retrieved June 11, 2019, from <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16943>



Tipos de Sensores ABS Velocidad de Rueda - Blog Técnico Automotriz. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/>

Tipos de sensores y sus características - Ingeniería Mecafenix. (2017). Retrieved June 13, 2019, from <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/>

Torque Transducers & Torque Sensors | Static | Reaction | Rotary. (2019). Retrieved June 22, 2019, from <https://appmeas.co.uk/products/torque-sensors/>

Traction Control Explained | HowStuffWorks. (2005). Retrieved June 21, 2019, from <https://auto.howstuffworks.com/28000-traction-control-explained.htm>

U. Breng, T. Geßner, P. Lorenz, M. Rauch, W. Leyffer, M. Dittmann, B. Küttner, G. Schwenzer, M. Wetzel, N. Z. (1990). Micro System Technologies 90. (H. Reichl, Ed.) (Springer).

Understanding Radar for automotive (ADAS) solutions - PathPartnerTech. (2018). Retrieved June 6, 2019, from <https://www.pathpartnertech.com/understanding-radar-for-automotive-adas-solutions/>

Vitoria, L. M. (2016). 21 cosas que no sabías sobre los airbags de los coches | Innovación | Autopista.es. Retrieved June 22, 2019, from <https://www.autopista.es/tecnologia/articulo/airbags-coches-caracteristicas-como-funcionan>

What is ABS, TCS and ESC? - CarsomeSG.com. (2017). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.carsomesg.com/news/item/What-is-ABS-TCS-and-ESC>

What is Rear Cross Traffic Alert? - www.carsales.com.au. (2017). Retrieved June 19, 2019, from <https://www.carsales.com.au/editorial/details/what-is-rear-cross-traffic-alert-110315/>

What is TPMS? | Bridgestone Tires. (2014). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.bridgestonetire.com/tread-and-trend/drivers-ed/tire-pressure-monitoring-system-how-tpms-works>

What you need to know about Steering Angle Sensors and Alignment Service. (2019). Retrieved June 12, 2019, from <http://www.sasreset.com/features/eps.htm>



Fuentes de las ilustraciones:

Ilustración 1: Sensores del automovil - otros sensores. (2014). Retrieved June 22, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores8.htm>

Ilustración 2: Sistema antibloqueo de frenos ABS. (2014). Retrieved June 21, 2019, from http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm

Ilustración 3: Sanchez Martinez, M. (2009). 6.2. CORRECTOR AUTOMATICO DE LOS FAROS. - GT Sistema de Alumbrado. Retrieved June 21, 2019, from <https://sites.google.com/site/gtsistemadealumbrado/Home/6-faros-de-xenon/6-2-corrector-automatico-de-los-faros>

Ilustración 4: What is TPMS? | Bridgestone Tires. (2014). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.bridgestonetire.com/tread-and-trend/drivers-ed/tire-pressure-monitoring-system-how-tpms-works>

Ilustración 5: Camós, J. (2012). ¿Qué es el TPMS o control de presión de neumáticos? - Circula Seguro. Retrieved February 16, 2019, from <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-tpms-o-control-de-presion-de-los-neumaticos/>

Ilustración 6: How air bag is made - material, production process, manufacture, history, used, processing, parts, components. (2006). Retrieved March 12, 2019, from <http://www.madehow.com/Volume-1/Air-Bag.html>

Ilustración 7: Clemson Vehicular Electronics Laboratory: Electric Power-Assisted Steering. (2014). Retrieved June 12, 2019, from https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/ep_steering.html

Ilustración 8: Sistema antibloqueo de frenos ABS. (2014). Retrieved June 21, 2019, from http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm

Ilustración 9: Sistema antibloqueo de frenos ABS. (2014). Retrieved June 21, 2019, from http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm

Ilustración 10: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 11: Tipos de Sensores ABS Velocidad de Rueda - Blog Técnico Automotriz. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/>

Ilustración 12: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>



Ilustración 13: Tipos de Sensores ABS Velocidad de Rueda - Blog Técnico Automotriz. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/>

Ilustración 14: Tipos de Sensores ABS Velocidad de Rueda - Blog Técnico Automotriz. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/>

Ilustración 15: Sensores de posicion - automovil. (2014). Retrieved May 18, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores1-modelos.htm>

Ilustración 16: Bixenón con luz de viraje dinámica. (2006). Retrieved from [https://moodle.institutmontilivi.cat/pluginfile.php/69717/mod_resource/content/1/cd108 Bixenón con luz de viraje dinámica.pdf](https://moodle.institutmontilivi.cat/pluginfile.php/69717/mod_resource/content/1/cd108%20Bixen%C3%B3n%20con%20luz%20de%20viraje%20din%C3%A1mica.pdf)

Ilustración 17: Sensores de posicion - automovil. (2014). Retrieved May 18, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores1-modelos.htm>

Ilustración 18: Relative Integrated Pressure Sensor for Mid Pressures #Melexis. (2017). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.melexis.com/en/product/MLX90819/Relative-Pressure-Sensor-Mid-Pressures-MEMS>

Ilustración 19: LEY DE GAY-LUSSAC (relación entre la presión y la temperatura a volumen constante) | leyes de los gases. (2015). Retrieved June 21, 2019, from <https://leyesdelosgases.wordpress.com/2011/02/15/22/>

Ilustración 20: Neumaticos, detector electronico de inflado. (2014). Retrieved March 4, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/neumaticos-detector-inflado.htm>

Ilustración 21: Continental Automotive - Tire Pressure Monitoring System (TPMS). (2018). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Passenger-Cars/Interior/Comfort-Security/Tire-Information-Systems/Tire-Pressure-Monitoring-System>

Ilustración 22: TPMS Warning Light? Replace your TPMS Sensors for Cheap. (2014). Retrieved June 21, 2019, from <https://www.stevejenkins.com/blog/2014/11/tpms-warning-light-replace-your-tpms-sensors-for-cheap/>

Ilustración 23: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>



Ilustración 24: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 25: U. Breng, T. Geßner, P. Lorenz, M. Rauch, W. Leyffer, M. Dittmann, B. Küttner, G. Schwenzer, M. Wetzel, N. Z. (1990). *Micro System Technologies 90*. (H. Reichl, Ed.) (Springer).

Ilustración 26: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 27: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 28: Lukkarinen, S. (2015). Acceleration sensors - Sensor Technology - Metropolia Confluence. Retrieved June 22, 2019, from <https://wiki.metropolia.fi/display/sensor/Acceleration+sensors>

Ilustración 29: Sensores de aceleración y vibraciones. (2014). Retrieved March 23, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores3.htm>

Ilustración 30: Acelerómetro sensor de movimiento o vibración - Ingeniería Mecafenix. (2017). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>

Ilustración 31: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 32: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 33: Kaur, K. (2012). Automotive Airbag Sensors. Retrieved June 22, 2019, from <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=40>

Ilustración 34: Kaur, K. (2012). Automotive Airbag Sensors. Retrieved June 22, 2019, from <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=40>

Ilustración 35: Sensores de aceleración y vibraciones. (2014). Retrieved March 23, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores3.htm>

Ilustración 36: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>



Ilustración 37: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 38: Force Sensing Resistor - How it Works and its Applications. (n.d.). Retrieved April 17, 2019, from <https://www.elprocus.com/force-sensing-resistor-technology/>

Ilustración 39: Overview | Force Sensitive Resistor (FSR) | Adafruit Learning System. (2012). Retrieved April 17, 2019, from <https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview>

Ilustración 40: Force Sensing Resistor - How it Works and its Applications. (n.d.). Retrieved April 17, 2019, from <https://www.elprocus.com/force-sensing-resistor-technology/>

Ilustración 41: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 42: Sensores del automovil - otros sensores. (2014). Retrieved June 22, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores8.htm>

Ilustración 43: Genuine Passenger Seat Occupancy Sensor Mat for BMW E90 E91 E92 E93 3 Series | eBay. (2019). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.ebay.es/itm/Genuine-Passenger-Seat-Occupancy-Sensor-Mat-for-BMW-E90-E91-E92-E93-3-Series-/222209367077>

Ilustración 44: Principle of the AMR sensor | AMR sensor | KOHDEN Co., Ltd. (2011). Retrieved April 29, 2019, from http://www.hkd.co.jp/english/amr_tec_amr/

Ilustración 45: Principle of the AMR sensor | AMR sensor | KOHDEN Co., Ltd. (2011). Retrieved April 29, 2019, from http://www.hkd.co.jp/english/amr_tec_amr/

Ilustración 46: Fundamental principle | AMR Sensors (Magnetic Sensors) | Murata Manufacturing Co., Ltd. (n.d.). Retrieved April 29, 2019, from <https://www.murata.com/en-us/products/sensor/amr/basic/principle>

Ilustración 47: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>

Ilustración 48: Robert Bosch GmbH (Ed.). (2014). *Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics : Systems and Components, Networking and Hybrid Drive*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01784-2>



Ilustración 49: Sensores de posición - automóvil. (2014). Retrieved May 18, 2019, from <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores1-modelos.htm>

Ilustración 51: The Benefits of Contactless Torque and Position Sensing for Electronic Power Steering (EPS). (2018). Retrieved June 11, 2019, from <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16943>

Ilustración 52: What you need to know about Steering Angle Sensors and Alignment Service. (2019). Retrieved June 12, 2019, from <http://www.sasreset.com/features/eps.htm>

Ilustración 53: Lane change assist | HELLA | HELLA. (2018). Retrieved June 19, 2019, from <https://www.hella.com/techworld/za/Technical/Car-electronics-and-electrics/Lane-change-assist-41856/>

Ilustración 54: Autonomous cars by ihazn. (n.d.). Retrieved June 22, 2019, from <https://pt.slideshare.net/lhazan119/autonomous-cars-by-ihazn/18>

Ilustración 55: From Technologies to Markets Report Sensors and Data Management for Autonomous Vehicles. (2015). Retrieved from www.yole.fr

Ilustración 56: From Technologies to Markets Report Sensors and Data Management for Autonomous Vehicles. (2015). Retrieved from www.yole.fr

Ilustración 57: From Technologies to Markets Report Sensors and Data Management for Autonomous Vehicles. (2015). Retrieved from www.yole.fr

Ilustración 58: Optimizing Autonomous Vehicle and ADAS Radar Systems in a Virtual World | ANSYS Blog. (2018). Retrieved June 22, 2019, from <https://www.ansys.com/blog/optimizing-autonomous-vehicle-ad-as-radar-systems-virtual-world>

Ilustración 59: Lane change assist | HELLA | HELLA. (2018). Retrieved June 19, 2019, from <https://www.hella.com/techworld/za/Technical/Car-electronics-and-electrics/Lane-change-assist-41856/>

Ilustración 60: Understanding Radar for automotive (ADAS) solutions - PathPartnerTech. (2018). Retrieved June 6, 2019, from <https://www.pathpartnertech.com/understanding-radar-for-automotive-ad-as-solutions/>