

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“LA SONDA LAMBDA COMO
ELEMENTO DE CONTROL DE
EMISIONES”**

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

Autor: JAIME CIVES VILAR

Director: Dr. VICENTE DÍAZ LÓPEZ

Codirector: SUSANA SANZ SÁNCHEZ

Leganés 2011





Título: LA SONDA LAMBDA COMO ELEMENTO DE CONTROL DE EMISIONES

Autor: JAIME CIVES VILAR

Director: VICENTE DÍAZ LÓPEZ

Codirector: SUSANA SANZ SÁNCHEZ

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____
de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





RESUMEN

Los avances tecnológicos desarrollados con el objetivo de optimizar el funcionamiento de los vehículos han sido tremendamente importantes en los últimos años. Su uso cada vez más generalizado y la necesidad de emplear combustibles como la gasolina o el diesel ha dado paso a una época en la que los esfuerzos deben estar en equilibrio entre la mejora mecánica o electrónica y el respeto por el medio ambiente.

Los procesos de transformación de los combustibles en productos que en ocasiones son nocivos para el medio ambiente se llevarán a cabo siempre que un motor esté en funcionamiento. Sin embargo cada día está más presente en la sociedad la importancia de que dicha emisión de productos debe ser la menor posible.

Entre las diferentes maneras de controlar las emisiones de los vehículos nos centraremos en la sonda lambda. Abordaremos su estructura y funcionamiento, los diferentes tipos existentes así como los modos de trabajo que podemos encontrar en el funcionamiento del motor.

Parejo a la existencia de dichas sondas podemos disponer de diferentes tipos de catalizadores que nos ayudan a minimizar los productos enviados a la atmósfera.

Para finalizar, trataremos los protocolos OBD los cuales están encaminados al tratamiento de los errores y fallos que se producen en los vehículos automóviles, así como su almacenamiento y facilitación de posterior subsanación.



ABSTRACT

The technological advances developed in order to optimize the functioning of the vehicles have been amazingly in the last years. Its increasingly widespread use and the need to use fuels as gasoline or diesel has led to a time when efforts should be balanced between mechanical or electronical improving, and the respect for the environment.

The processing of fuel products that are sometimes harmful to the environment will happen whenever a motor is running. However, each day is more present in our society the importance that the emission of this products should be as least as possible.

Among the different ways to control vehicle emissions we will focus on the lambda Exhaust Gas Oxygen Sensor. We will treat its structure and functioning, the different types and the ways of working that we can find while the engine is running.

At the same time, we can have different types of catalysts that help us to minimize the products shipped to the atmosphere.

Finally, OBD protocols will be reviewed, whose main objective is treating the errors and failures that motor vehicles suffer and the storage of the main information for a later treatment.



ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	15
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. OBJETIVOS	17
2. COMBUSTIÓN EFICAZ CON CONTROL ESTEQUIOMÉTRICO	18
2.1. DISPOSICIÓN DEL PARQUE RODANTE ANTE EL MEDIO AMBIENTE	19
2.1.1. <i>¿CÓMO HAN EVOLUCIONADO LAS EMISIONES DE TURISMOS CAUSANTES DEL EFECTO INVERNADERO?</i>	20
2.1.2. <i>¿QUÉ EFECTOS TIENEN LAS EMISIONES LOCALES SOBRE LA SALUD DE LOS CIUDADANOS?</i>	21
2.1.3. <i>¿QUÉ SUSTANCIAS EMITEN LOS VEHÍCULOS Y CUÁLES SON SUS EFECTOS MEDIOAMBIENTALES?</i>	22
2.1.4. <i>¿CÓMO HAN EVOLUCIONADO LAS EMISIONES DE LOS TURISMOS CAUSANTES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA?</i>	23
2.1.5. <i>GASES DE ESCAPE, EMISIONES Y CONTAMINANTES</i>	23
2.2. CARBURACIÓN	31
2.2.1. <i>FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL PROCESO DE CARBURACIÓN</i>	31
2.2.2. <i>PROCESO DE TRABAJO EN UN CARBURADOR ELEMENTAL</i>	33
2.3. INYECCIÓN	40
2.3.1. <i>CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN</i>	40
2.3.2. <i>ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS E INYECCIÓN DE GASOLINA</i>	42
3. MEDIDAS PARA EVITAR LOS CONTAMINANTES EN LOS VEHÍCULOS A MOTOR	46
3.1. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES EN MOTORES DE GASOLINA.....	50
3.1.1. <i>FORMACIÓN DE LA MEZCLA Y DOSIFICACIÓN</i>	50



3.1.2. ENCENDIDO Y COMBUSTIÓN	51
3.1.3. GASES DE ESCAPE PARA LA COMBUSTIÓN	55
3.1.4. GASES DE ESCAPE DE EVAPORACIÓN	59
3.2. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES EN MOTOR DIESEL	60
3.2.1. FORMACIÓN DE LA MEZCLA Y DOSIFICACIÓN.....	63
3.2.2. COMBUSTIÓN.....	64
3.2.3. GASES DE ESCAPE PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN	65
3.2.4. GASES DE ESCAPE PROCEDENTES DE LA EVAPORACIÓN Y LA VAPORIZACIÓN	66
4. SENSOR DE OXÍGENO. SONDA LAMBDA	67
4.1. TIPOS DE SONDA LAMBDA	80
4.1.1. SONDA LAMBDA DE DIÓXIDO DE CIRCONIO.....	80
4.1.2. SONDA LAMBDA DE DIÓXIDO DE TITANIO	82
4.1.3. SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA	85
4.1.4. SONDA LAMBDA PARA MOTOS.....	88
4.2. PROBLEMAS QUE SURGEN ANTE SONDAS λ DEFECTUOSAS	89
4.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO	90
4.3.1. FUNCIONAMIENTO CON CARGA ESTRATIFICADA	91
4.3.2. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA	91
4.3.3. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA POBRE.....	92
4.3.4. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA Y CARGA ESTRATIFICADA.....	92
4.3.5. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA Y CARGA ESTRATIFICADA ANTIDETONANTE	93
4.3.6. CARGA ESTRATIFICADA Y CALENBTAMIENTO RÁPIDO DEL CATALIZADOR.....	93
5. CATALIZADORES	94
5.1. TIPOS DE CATALIZADORES	95
5.1.1. CATALIZADOR DE OXIDACIÓN	95
5.1.2. CATALIZADOR DE TRES VÍAS	95
5.1.3. CATALIZADOR ACUMULADOR DE NOX.....	99



5.2. DISPOSICIONES DE CATALIZADORES	102
5.3. TRATAMIENTO POSTERIOR DE LOS GASES DE ESCAPE	103
5.3.1. MOTOR FRÍO	103
5.3.2. MOTOR CALIENTE.....	104
5.4. CIRCUITO DE REGULACIÓN λ	105
5.4.1. REGULACIÓN λ DE DOS PUNTOS.....	106
5.4.2. REGULACIÓN λ CONSTANTE.....	106
5.4.3. REGULACIÓN CON DOS SONDAS.....	107
5.4.4. REGULACIÓN λ EN LA INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA	107
5.4.5. REGULACIÓN DE TRES SONDAS.....	107
5.4.6. REGULACIÓN DE CILINDRO INDIVIDUAL.....	108
6. PROCESAMIENTO DE DATOS Y REDES DE COMUNICACIÓN EN EL VEHÍCULO	109
6.1. ENGINE MAPPING	110
6.2. SISTEMAS DE CONTROL DE LLENADO	116
6.2.1. SISTEMAS CONVENCIONALES.....	116
6.2.2. SISTEMAS CON EGAS	117
7. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE	119
7.1. COMPROBACIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE EN BANCOS DE ENSAYO CON RODIYOS	120
7.2. SISTEMAS DE DILUCIÓN.....	122
7.3. APARATOS DE MEDICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE.....	124
7.3.1. ANALIZADOR NDIR	125
7.3.2. DETECTOR DE QUIMIOLUMINISCENCIA.....	126
7.3.3. DETECTOR DE IONIZACIÓN DE LLAMAS.....	126
7.3.4. GC-FID Y CUTTER-FID.....	127
7.3.5. DETECTOR PARAMAGNÉTICO	127
8. DIAGNOSIS ELECTRÓNICA MEDIANTE PROTOCOLO OBD.....	128
8.1. INTRODUCCIÓN AL EOBD	130
8.2. FUNCIONES DEL EOBD.....	132



8.3. COMPONENTES DEL SISTEMA EOBD	133
8.3.1. CONECTOR	133
8.3.2. CÓDIGOS DE ERROR.....	134
8.3.3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	135
8.3.4. LECTORES DE CÓDIGOS.....	135
8.3.5. OTROS SISTEMAS DE LECTURA.....	136
8.4. FUTURO DE LA DIAGNOSIS DEL AUTOMOVIL. INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS EN LA ITV	137
8.5. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO	143
8.5.1. DIAGNÓSTICO DEL LÍMITE DE REGULACIÓN PARA LA SONDA LAMBDA POSTCATALIZADOR	143
8.5.2. DIAGNÓSTICO DEL LÍMITE DE REGULACIÓN PARA LA SONDA LAMBDA	145
8.6. CONSECUENCIA DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA OBD	147
8.6.1. CONSECUENCIAS DE UTILIZACIÓN DEL SISTEMA EOBD PARA LOS TALLERES	147
8.6.2. CONSECUENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA EOBD EN EL AUTOMÓVIL	148
CONCLUSIONES	149
DESARROLLO FUTURO.....	150
BIBLIOGRAFÍA.....	151



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ POR TIPO DE COMBUSTIBLES EN VEHÍCULOS TURISMO ..	22
FIGURA 2. COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES MEDIAS DE CO ₂ POR CARBURANTE Y GLOBAL DE LOS VEHÍCULOS MATRICULADOS EN ESPAÑA Y EN EUROPA	22
FIGURA 3. EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO POR TIPO DE COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS TURISMO.....	23
FIGURA 4. EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE HC+NO _x POR TIPO DE COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS TURISMO	23
FIGURA 5. COMPONENTES DE LOS GASES DE EMISIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN	24
FIGURA 6. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS COMPONENTES EN LOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN EN FUNCIÓN DE LA CARGA	30
FIGURA 7. ESQUEMA DE UN CARBURADOR ELEMENTAL	34
FIGURA 8. FLUJO DE COMBUSTIBLE A TRAVÉS DEL CARBURADOR	35
FIGURA 9. CARACTERÍSTICA DE CARGA DE LOS CARBURADORES: ABC – PERFECTO: EF – ELEMENTAL	36
FIGURA 10. ESQUEMA DEL SISTEMA DE MARCHA EN VACÍO	37
FIGURA 11. ESQUEMAS DE ECONOMIZADORES: A)CON MANDO MECÁNICO; B)CON MANDO NEUMÁTICO	39
FIGURA 12. SISTEMA DE INYECCIÓN BOSCH K-JETRONIC.....	43
FIGURA 13. SISTEMA DE INYECCIÓN BOSCH L-JETRONIC	44
FIGURA 14. SISTEMA DE INYECCIÓN MONOPUNTO	45
FIGURA 15. PROCEDENCIA DE LOS GASES DE ESCAPE	46
FIGURA 16. COMPARATIVA DE LAS EMISIONES DE MOTORES DIESEL Y GASOLINA	48
FIGURA 17. COMPARATIVA ENTRE EMISIONES DE VEHÍCULO CON SISTEMA Y SIN SISTEMA DE CONTROL DE LAS MISMAS.....	49
FIGURA 18. EMISIONES DE HC A RALENTÍ	52
FIGURA 19. ÁNGULOS DE GIRO DEL CIGÜEÑAL CARACTERÍSTICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES.....	53
FIGURA 20. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE	54
FIGURA 21. ESQUEMA DE CONVERSIÓN DE CONTAMINANTES EN CATALIZADORES	57
FIGURA 22. COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DE UN CATALIZADOR	57
FIGURA 23. EMISIONES A FAVOR DE LA CORRIENTE Y A CONTRACORRIENTE DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO	59
FIGURA 24. COMBUSTIÓN CON DISTINTOS AJUSTES DEL MOTOR.....	61
FIGURA 25. EMISIONES DEL NO _x EN FUNCIÓN DEL VALOR LAMBDA EN MOTORES DIESEL.....	61
FIGURA 26. COMPARATIVA ENTRE TAMAÑOS, PORCENTAJES Y PENETRACIÓN EN LOS PULMONES DE LAS PARTÍCULAS DE HOLLÍN.....	62



FIGURA 27. ESTRUCTURA DE UN CONVERTIDOR CATALÍTICO DE OXIDACIÓN	65
FIGURA 28. RELACIÓN DE PRESIÓN Y FORMACIÓN DE ÓXIDOS DE AZUFRE EN LA COMBUSTIÓN.....	66
FIGURA 29. ESQUEMA DE COMPONENTES DE SONDA LAMBDA.....	67
FIGURA 30. FORMACIÓN DE PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN EN FUNCIÓN DEL FACTOR LAMBDA.....	70
FIGURA 31. TABLA COMPARATIVA DE LOS VALORES DE EMISIÓN PARA MOTORES DE GASOLINA SEGÚN LAS DIFERENTES NORMAS EURO	71
FIGURA 32. ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE SONDA LAMBDA EN AUTOMÓVILES.....	75
FIGURA 33. COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DE UNA SONDA LAMBDA	76
FIGURA 34. DISPOSICIÓN DE LA SONDA LAMBDA EN EL TUBO DE ESCAPE	76
FIGURA 35. CORRELACIÓN ENTRE VOLTAJE DE SALIDA Y VALOR DEL COEFICIENTE LAMBDA.....	77
FIGURA 36. SONDA LAMBDA CALEFACTADA	78
FIGURA 37. EFICACIA DE UN CATALIZADOR EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN AIRE-COMBUSTIBLE.....	79
FIGURA 38. PROPORCIÓN DE CONTAMINANTES EN FUNCIÓN DEL VALOR LAMBDA.....	79
FIGURA 39. SONDA LAMBDA DE DIÓXIDO DE CIRCONIO	80
FIGURA 40. DISPOSICIÓN DE LA SONDA LAMBDA EN EL TUBO DE ESCAPE	81
FIGURA 41. PROCESO QUÍMICO SUFRIDO EN SONDAS LAMBDA	81
FIGURA 42. DISPOSICIÓN DE CABLES EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SONDA LAMBDA	82
FIGURA 43. SONDA LAMBDA DE DIÓXIDO DE TITANIO	83
FIGURA 44. FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA	83
FIGURA 45. ASIGNACIÓN DE CABLES PARA SONDAS LAMBDA DE DIÓXIDO DE TITANIO.....	84
FIGURA 46. SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA.....	85
FIGURA 47. PRESENTACIÓN ESPACIAL DE UN ELEMENTO DE UNA SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA	86
FIGURA 48. SECCIÓN POR EL ELEMENTO PLANAR DE UNA SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA.....	87
FIGURA 49. ASIGNACIÓN DE CABLES PARA SONDAS LAMBDA DE BANDA ANCHA	87
FIGURA 50. SONDA LAMBDA PARA MOTOS.....	88
FIGURA 51. VARIACIÓN DE FUNCIONAMIENTO ANTE SONDAS LAMBDA DEFECTUOSAS.....	89
FIGURA 52. EJEMPLOS DE IMÁGENES DE SONDAS LAMBDA DETERIORADAS.....	90
FIGURA 53. TRAMO DEL SISTEMA DE ESCAPE CON UN CATALIZADOR DE TRES VÍAS MONTADO CON SONDAS LAMBDA.....	95
FIGURA 54. ECUACIONES DE LAS REACCIONES EN EL CATALIZADOR DE TRES VÍAS.....	96
FIGURA 55. CONTAMINANTES EN LOS GASES DE ESCAPE EN BASE AL VALOR DEL COEFICIENTE LAMBDA.....	97
FIGURA 56. CATALIZADOR DE TRES VÍAS CON SONDA LAMBDA.....	98
FIGURA 57. ECUACIONES DE LAS REACCIONES EN LA FASE DE ACUMULACIÓN DE NO_x , FASE DE ACUMULACIÓN Y TRANSFORMACIÓN.....	101



FIGURA 58. SISTEMA DE ESCAPE CON CATALIZADOR DE TRES VÍAS COMO CATALIZADOR PREVIO, CATALIZADOR ACUMULADOR DE NO _x POSPUESTO Y SONDAS LAMBDA	101
FIGURA 59. DISPOSICIÓN TÍPICA DE LOS CATALIZADORES	103
FIGURA 60. ESQUEMA FUNCIONAL DE LA REGULACIÓN LAMBDA.....	105
FIGURA 61. REGULACIÓN LAMBDA CON CASCADA DE REGULACIÓN PARA REGULACIÓN DE TRES SONDAS	108
FIGURA 62. ESTRUCTURA BÁSICA DE LA REGULACIÓN LAMBDA PARA CILINDROS INDIVIDUALES.....	108
FIGURA 63. DIAGRAMA GENERALIZADO DE UN SISTEMA DE CONTROL	111
FIGURA 64. FUNCIONES CARACTERÍSTICAS QUE CIRCUNDAN AL MOTOR	112
FIGURA 65. PARÁMETROS FÍSICOS MEDIDOS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR	112
FIGURA 66. VALORES DE SALIDA CARACTERÍSTICOS DEL SISTEMA DE CONTROL	113
FIGURA 67. TABLA REPRESENTATIVA DE LA CARTOGRAFÍA DE CONTROL DE UN MOTOR	114
FIGURA 68. REPRESENTACIÓN DE LOS VALORES RECOGIDOS EN LA FIGURA 66.....	115
FIGURA 69. CAMPO CARACTERÍSTICO DE ENCENDIDO DE UN MOTOR.....	116
FIGURA 70. PRINCIPIO DE CONTROL DEL AIRE EN SISTEMAS CONVENCIONALES MEDIANTE UNA MARIPOSA DE REGULACIÓN MECÁNICA	117
FIGURA 71. COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DE UN SISTEMA EGAS	118
FIGURA 72. COMPROBACIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE EN UN BANCO DE PRUEBAS DE RODILLOS	121
FIGURA 73. ELEMENTOS DE MEDICIÓN DE GASES CONTAMINANTES	124
FIGURA 74. ESQUEMA DE ANALIZADOR NDIR	125
FIGURA 75. ESTRUCTURA DEL DETECTOR QUIMIOLUMINISCENTE	126
FIGURA 76. ESTRUCTURA DEL DETECTOR DE IONIZACIÓN DE LLAMAS.....	127
FIGURA 77. TESTIGO DE AVISO Y CONECTOR DE DATOS.....	131
FIGURA 78. CABLE CONECTOR EOBD	133
FIGURA 79. TERMINALES CONECTOR EOBD.....	134
FIGURA 80. DESCRIPCIÓN DE CÓDIGOS DE DIAGNÓSTICO OBDII.....	134
FIGURA 81. INTERFAZ DE COMUNICACIÓN	136
FIGURA 82. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN OBD	137
FIGURA 83. TARJETA DE INSPECCIÓN TÉCNICA	138
FIGURA 84. IDENTIFICACIÓN DEL VEHÍCULO EN EL PROGRAMA	139
FIGURA 85. LOCALIZACIÓN DEL CONECTOR EOBD MEDIANTE EL PROGRAMA	140
FIGURA 86. TIPOS DE CONECTORES EOBD.....	140
FIGURA 87. LOCALIZACIÓN DEL DISPOSITIVO EOBD.....	141
FIGURA 88. CONEXIÓN AL VEHÍCULO MEDIANTE CONECTOR EOBD.....	141
FIGURA 89. SITUACIÓN DE VEHÍCULO EN PRUEBA DE DIAGNOSIS MEDIANTE EOBD	142



FIGURA 90. EQUIPOS DE DIAGNOSIS EOBD MULTIMARCA BOSCH Y AUTOCOM	142
FIGURA 91. PANTALLA DE INFORME DE DIAGNOSIS EOBD REALIZADA.....	143
FIGURA 92. MEZCLA POBRE DE AIRE/COMBUSTIBLE Y REGULACIÓN CORRECTA.....	144
FIGURA 93. MEZCLA POBRE DE AIRE/COMBUSTIBLE ALCANZÁNDOSE EL LÍMITE DE VALORES DE REGULACIÓN	145
FIGURA 94. MODULACIÓN DE LA MEZCLA POR PARTE DE LA UNIDAD DE CONTROL DE MOTOR	145
FIGURA 95. LA SEÑAL DE LA Sonda ANTE CATALIZADO SIGUE A LA MODULACIÓN DE LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE/ AIRE QUE EFECTÚA LA UNIDAD DE CONTROL DEL MOTOR	146
FIGURA 96. LA SEÑAL DE LA Sonda ANTE CATALIZADOR YA NO PUEDE SEGUIR A LA MODULACIÓN DE LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE/AIRE	146



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE MOTORES GASOLINA Y DIESEL.....48



Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El automóvil se ha convertido desde los inicios de su producción en cadena en EEUU en el año 1908 en un bien de consumo cuya presencia en nuestras sociedades no ha dejado de incrementarse, hasta llegar a los más de 900 millones de vehículos que circulan hoy día por todo el mundo. La industria del automóvil representa aproximadamente el 6% del PIB de las economías mundiales. Se trata pues de un producto con gran peso a nivel económico, con una serie de implicaciones como son el acondicionamiento de las infraestructuras para su uso, la organización del abastecimiento de combustibles, una legislación que regule su uso, la gestión de los siniestros que de su uso se derivan, la gestión de los gases y partículas emitidos, la gestión de los residuos generados... Todos ellos aspectos que la mayor parte de la sociedad reconoce de gran importancia y merecen sin duda un seguimiento continuo para que ese crecimiento constante del parque se produzca de la forma más controlada y beneficiosa posible para la sociedad.

El impacto medioambiental de cualquier vehículo se divide en tres fases: fase de fabricación (obtención y producción), fase de uso, y fase de fin de vida.

Sin embargo, debido a su mayor incidencia, nos centraremos en el impacto medioambiental durante el uso del vehículo así como en los diferentes elementos existentes encaminados a la disminución de las emisiones de los vehículos del parque automovilístico.

De este modo, el presente documento pretende enfatizar la importancia del dispositivo sonda lambda en la contribución de control asociada a las emisiones del vehículo, la importante mejora tecnológica y la adecuación ante las nuevas normativas medioambientales.



1.1. OBJETIVOS

La presente tecnología referente a la sonda lambda así como el tratado de diferentes elementos encaminados hacia la optimización de la combustión en los vehículos de gasolina son el fundamento del proyecto. Nos ocuparemos del estado del arte en la materia en cuestión atendiendo a:

- Nuevas tendencias de diseño
- Sistemas de inspección
- Protocolos OBD

Comenzaremos el análisis de los diferentes sistemas de alimentación de combustible y una breve revisión de los elementos empleados en el control de emisión de sustancias nocivas a la atmósfera. Abordaremos de pleno la sonda lambda como elemento regulador de dichas emisiones y continuaremos con una breve reseña de elementos característicos asociados al funcionamiento de dicha sonda lambda, como son los catalizadores, los correspondientes analizadores de gases o los protocolos OBD.



Capítulo 2

COMBUSTIÓN EFICAZ CON CONTROL ESTEQUIOMÉTRICO

La sensibilidad de la sociedad actual en lo concerniente a la contaminación atmosférica ha motivado la evolución sufrida por los vehículos automóviles. Las estrictas normas anticontaminación actuales han obligado a los constructores de automóviles a desarrollar nuevos sistemas para conseguir que sus fabricados sean cada día más respetuosos con el medio ambiente. No obstante, y dado que la demanda mantiene sus preferencias en cuanto a prestaciones, consumos o confortabilidad y ello no es compatible en principio con la limpieza de las emisiones, los constructores han debido hacer grandes esfuerzos económicos y de diseño para satisfacer ambas premisas. El resultado es que un vehículo actual mantiene sus niveles de prestaciones y consumos, resultando al mismo tiempo mucho menos contaminante que los anteriores modelos.

El motor de un automóvil desprende a la atmosfera una importante cantidad de compuestos, tales como hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono, que contribuyen a la formación de humos y neblinas peligrosos para la salud. Ello ha obligado a los fabricantes a adoptar medidas tendentes a reducir la polución, limitando el porcentaje de gases nocivos emitidos por el escape, introduciendo modificaciones en los sistemas de alimentación de combustible, encendido y escape.

De otra parte, los gobiernos de los diferentes países han dictado normas de obligado cumplimiento que controlan las condiciones de funcionamiento del motor, la cantidad y la naturaleza de los gases nocivos emitidos por el escape, sobre todo para motores de gasolina.



Las medidas encaminadas a reducir las emisiones de los elementos contaminantes tienen el objetivo de conseguir, con el consumo de combustible más reducido posible, grandes prestaciones y buen comportamiento de marcha del motor, con una emisión mínima de elementos contaminantes.

2.1. DISPOSICIÓN DEL PARQUE RODANTE ANTE EL MEDIO AMBIENTE

El protagonismo de la carretera como modo de transporte es indiscutible en los últimos quince años, sobre todo, en su faceta relacionada con la movilidad humana. Tanto es así, que el vehículo privado es el modo principal de transporte en la mitad de los desplazamientos cotidianos, aunque ello tiene consecuencias sobre el medio ambiente. De hecho, la contaminación atmosférica que existe actualmente en las ciudades procede, en gran parte, del parque de vehículos. El tráfico tiene un impacto muy significativo en el medio ambiente y en la salud de los habitantes de las ciudades, así como en la calidad de vida global en las mismas.

La mayor fuente de contaminación medio ambiental del parque automovilístico procede de las emisiones de gases y partículas durante la vida útil de los vehículos, sin embargo sus efectos son de diferente alcance dependiendo del tipo de emisiones. Así, se distingue entre las emisiones causantes del efecto invernadero, con consecuencias medioambientales a escala global, y aquellas que contribuyen a la concentración local de gases y sustancias contaminantes.

Sin embargo, el impacto medioambiental final del parque de vehículos, en términos de emisiones totales lanzadas a la atmósfera, es un fenómeno un tanto complejo que requiere una aproximación a cada uno de los elementos que entran en juego. Por tanto, para determinar los factores que explican las cantidades totales de gases contaminantes ha de tenerse en cuenta, primeramente, que los vehículos, por el mero hecho de ser adquiridos, poseen una potencial capacidad contaminante dependiendo de las características de sus motores y de su año de fabricación (cuanto más viejo, más contaminante, por regla general). Tomando en consideración el conjunto del parque de vehículos, la potencial capacidad de éste dependerá, por tanto, de su estructura en función de la edad de los vehículos que lo componen, por lo que el ritmo de renovación del parque juega un papel muy relevante en cuanto al impacto medioambiental final. Ahora bien, esta potencial capacidad contaminante del parque, en función de las características medias de los motores. Viene determinada, a su



vez, en gran medida por la legislación en materia de contaminación de los vehículos, que actualmente tiene un origen prominentemente europeo, imponiendo restricciones en las emisiones máximas de ciertas sustancias contaminantes.

Por otra parte, las cantidades totales de gases y sustancias contaminantes lanzadas a la atmósfera por parte del parque automovilístico no dependen exclusivamente de la capacidad contaminante de los motores, sino que, además, vienen determinadas por las distancias totales recorridas por el conjunto de los vehículos. Por ello, el volumen de tráfico o movilidad total del parque adquiere un papel fundamental en el impacto medioambiental final, junto con las características tecnológicas de los motores (estipuladas en gran medida a través de directivas europeas) y el grado de renovación del parque.

2.1.1. ¿QUÉ SUSTANCIAS EMITEN LOS VEHÍCULOS Y CUÁLES SON SUS EFECTOS MEDIOAMBIENTALES?

Dos son los tipos de sustancias contaminantes que emiten los vehículos: las emisiones causantes del efecto invernadero, con consecuencias medioambientales a escala global, y aquellas que contribuyen a la concentración local de gases y partículas contaminantes.

Con respecto a las primeras, el gas de efecto invernadero que más repercute en el problema del cambio climático es el dióxido de carbono, cuya principal fuente de emisión a la atmósfera es la quema de combustibles fósiles y biomasa (gas natural, petróleo, combustibles, leña) en procesos industriales, transporte, y actividades domiciliarias (cocina y calefacción). De los seis gases de efecto invernadero contemplados en el Protocolo de Kioto, el parque automovilístico es sólo fuente de tres de ellos: dióxido de carbono, óxido nitroso y metano.

En cuanto a los principales contaminantes atmosféricos de concentración local ligados al tráfico, destacan el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, y en menor medida el dióxido de azufre. Como contaminante secundario toma cada vez más importancia el ozono. La acumulación de partículas en el aire es otra de las consecuencias contaminantes del parque, a cuya formación contribuye en gran medida la emisión de óxido nitroso, si bien existen otras muchas fuentes de partículas.



2.1.2. ¿QUÉ EFECTOS TIENEN LAS EMISIONES LOCALES SOBRE LA SALUD DE LOS CIUDADANOS?

Indiscutiblemente la concentración local de todas estas sustancias va aparejada con una serie de efectos para la salud humana, que a diferencia de los gases causantes del efecto invernadero, tienen un carácter inmediato y fácilmente constatable:

- Los hidrocarburos o también denominados compuestos volátiles de carácter orgánico son productos orgánicos que se generan por una combustión incompleta del carburante. Estos compuestos en combinación con los óxidos de nitrógeno y por la acción de la luz solar y a temperaturas elevadas, forman ozono a nivel del suelo, la denominada niebla fotoquímica, “smog”, que puede causar irritación de los ojos, tos, jadeo, insuficiencia respiratoria y trastornos pulmonares permanentes y además, algunos casos en altas concentraciones y exposiciones son cancerígenos.
- Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son gases resultantes de la reacción del oxígeno y el nitrógeno del aire en las combustiones por efecto de la temperatura y de la presión. Contribuyen a la formación de ozono, lluvia ácida y niebla contaminante, además de afectar a la calidad del agua. Por otro lado, produce irritación en las mucosas de los órganos respiratorios y destruye el tejido pulmonar en el ser humano.
- El monóxido de carbono (CO) es generado por la combustión incompleta del carburante producida por la falta de oxígeno. Se trata de un gas tóxico, inodoro e incoloro que reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo debido a que ocupa el espacio de éste en la sangre, pudiendo en casos extremos ocasionar la muerte (un contenido de 0,3% de CO en aire respirado puede tener un efecto mortal en 30 min.). Además, puede afectar las funciones cerebrales y la visión. En las zonas urbanas, los vehículos son responsables de nada menos que el 90% del monóxido de carbono del aire.
- Partículas en suspensión que se producen como combinación de partículas sólidas y líquidas que se producen principalmente en los motores diesel. El principal efecto sobre la salud son los agravamientos de problemas respiratorios como el asma, problemas en la corteza renal y se sospecha además, que en algunos casos, son cancerígenos.

2.1.3. ¿CÓMO HAN EVOLUCIONADO LAS EMISIONES DE LOS TURISMOS CAUSANTES DEL EFECTO INVERNADERO?

El nivel de emisiones de dióxido de carbono de los automóviles de nueva matriculación ha ido disminuyendo constantemente a lo largo del tiempo, hasta situarse en algo más de 160 g/Km de media en 2004, y con un grueso del 60% de automóviles entre los 141 y 200 g/Km. No obstante, resulta desalentador la tendencia a mantenerse los grandes emisores (>200 g/Km) y el poquísimo avance de los emisores por debajo de 140 g/Km.

Entre los factores determinantes de esta evolución destacan las innovaciones tecnológicas, que se han ido mostrando progresivamente más favorables a las necesidades medioambientales, y también el incremento de las matriculaciones de turismos diesel en los últimos años. Esto último ha provocado un importante descenso de las emisiones medias del parque de turismo, haciendo que la media se distancie de los valores correspondientes a los turismos de gasolina y se aproxime a los valores de los turismos de gasóleo. En este sentido, la “dieselización” del parque ha contribuido a reducir la potencialidad de emisiones de dióxido de carbono, aunque la tendencia de los turismos diesel a aumentar la emisión de este gas puede modificar esta tendencia. Además, el prolongado uso de los vehículos hace que la emisión media del parque de turismos por vehículo y kilómetro recorrido se haya venido reduciendo más lentamente en los últimos años.

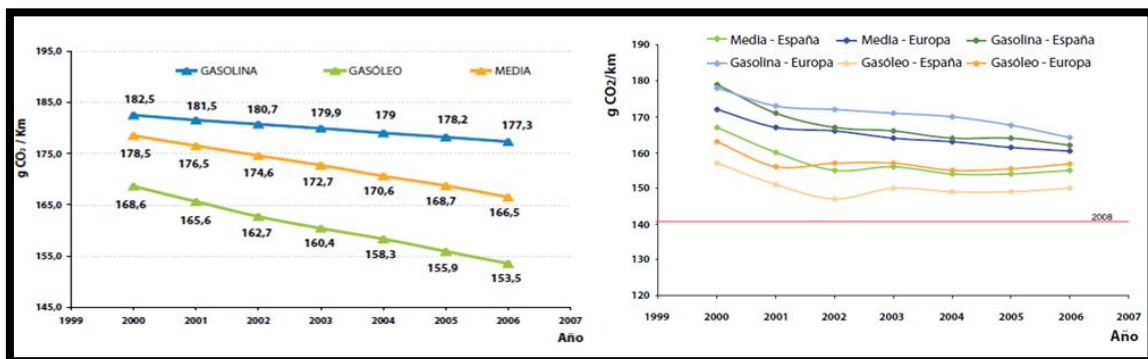


Figura 1

Figura 2

Figura 1. Evolución de las emisiones de CO₂ por tipo de combustibles en vehículos turismo

Figura 2. Comparación de la evolución de las emisiones medias de CO₂ por carburante y global de los vehículos matriculados en España y en Europa

2.1.4. ¿CÓMO HAN EVOLUCIONADO LAS EMISIONES DE LOS TURISMOS CAUSANTES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA?

La evolución durante los últimos años de las emisiones causantes de la contaminación atmosférica (el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y las partículas) apunta hacia una notoria reducción en los niveles emitidos por los turismos. Ello se debe en gran medida a la progresiva incorporación de vehículos que cumplen normativas europeas muy rigurosas y la consiguiente desaparición de los más antiguos, normalmente de carburador en el caso de gasolina y de inyección directa en el caso de los diesel.

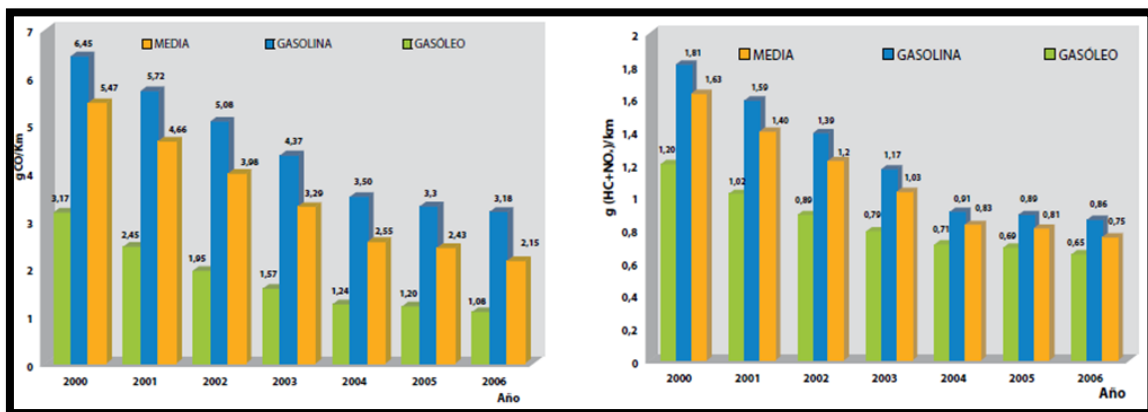


Figura 3

Figura 3. Evolución de las emisiones de CO por tipo de combustible en vehículos turismo

Figura 4

Figura 4. Evolución de las emisiones de HC+NO_x por tipo de combustible en vehículos turismo

También se ha producido un importante descenso de la emisión de partículas por parte de los vehículos diesel, gracias al creciente peso de este tipo de vehículos de nueva matriculación que incorporan sistemas avanzados de inyección, combustión y postratamiento de gases. A pesar de ello, se observa un menor descenso para el conjunto del parque de turismos de este tipo de emisiones, ya que los motores de gasolina no emiten partículas.

2.1.5. GASES DE ESCAPE, EMISIONES Y CONTAMINANTES

La polución producida por los automóviles proviene de tres fuentes distintas: gases del cárter motor, gases de escape y vapores de gasolina. La primera de ellas hace necesario establecer un circuito de recirculación, evitando la evacuación al exterior de los vapores que se producen en el cárter motor, con lo cual se elimina prácticamente este foco contaminante. La contaminación por vapores de gasolina, procedentes del carburador y depósito de combustible, precisa de un sistema capaz de tratar adecuadamente estos vapores, que posteriormente son reciclados hacia los cilindros del motor en determinadas condiciones de

funcionamiento de éste. La polución debida a los gases de escape requiere un tratamiento especial de estos gases antes de ser vertidos a la atmósfera y modificaciones importantes en la construcción del motor.

El contenido en productos contaminantes en los gases de escape depende de varios factores, entre los cuales, el más importante es el proceso de combustión. Si el combustible se quema totalmente en cualquiera de las condiciones de funcionamiento del motor, el contenido en contaminantes es mínimo. Tanto las mezclas ricas como las pobres hacen que el combustible queme inadecuadamente, vertiéndose por el escape gran cantidad de productos contaminantes. La temperatura a la que se realiza la combustión, la presión, la homogeneidad de la mezcla, la turbulencia y la forma de la cámara de combustión son factores que influyen notablemente en la calidad del proceso de combustión y , por consiguiente, en la emisión de contaminantes.

El proceso de combustión no se realiza de una manera completa prácticamente en ninguna de las condiciones de funcionamiento del motor. Fundamentalmente, la mezcla comprimida en la cámara de combustión, formada por aire (oxígeno y nitrógeno) y combustible (carbono e hidrógeno) se transforma, cuando la combustión es completa, en vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, ninguno de los cuales es nocivo; como consecuencia de las combustiones incompletas, en los gases de escape emitidos al exterior por el motor, se encuentran además de los citados, pequeñas porciones de otros productos (aproximadamente el 1%), como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y plomo, los cuales, por resultar perjudiciales para la salud cuando se encuentran en concentraciones muy elevadas, son considerados contaminantes y deben ser reducidos o transformados en otros productos.

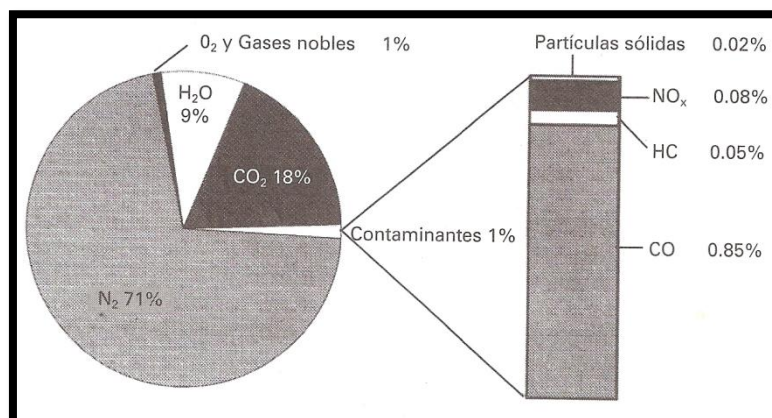


Figura 5. Componentes de los gases de emisión de un motor de combustión



El monóxido de carbono CO es un gas inodoro e incoloro, resultado de una combustión incompleta por exceso de riqueza de la mezcla, en la que el carbono no encuentra suficiente cantidad de oxígeno para formar el dióxido de carbono CO₂. Su proporción en los gases de escape aumenta considerablemente con las mezclas ricas. Ello determina que sea el componente esencial en las verificaciones para sacar conclusiones sobre la regulación y preparación de la mezcla. El efecto nefasto que presenta el monóxido de carbono es debido a que se combina fácilmente con los glóbulos rojos de la sangre, sustituyendo al oxígeno, lo que produce daños irreparables en los seres humanos. Una concentración de sólo un 3% en volumen de CO en el aire que respiramos puede producir la muerte en aproximadamente 30 minutos; sin embargo, vertido al aire libre se difunde rápidamente, y en contacto con el oxígeno forma dióxido de carbono, que no es nocivo. La conversión de monóxido a dióxido de carbono se logra simplemente con la mejora del proceso de la combustión.

Normalmente el nitrógeno es un gas inerte, es decir, no se combina con otros gases para formar compuestos; pero en condiciones de altas temperaturas, como las que se desarrollan en la combustión, algunas partículas de nitrógeno pueden combinarse con el oxígeno, formando óxidos y dióxidos de nitrógeno (NO y NO₂), denominados genéricamente NO_x. El NO₂ es un gas de olor picante que provoca gran irritación en los órganos respiratorios y en concentraciones altas resulta nocivo para la salud, pues destruye el tejido pulmonar. Algunos óxidos de nitrógeno son tóxicos, y bajo la acción de los rayos solares y en presencia de humedad, pueden transformarse en ácido nítrico HNO₃, que en suspensión en la atmósfera es causa de escozor en los ojos y tos, siendo asimismo responsable de la muerte de los bosques.

Los hidrocarburos HC, también llamados "*inquemados*", son moléculas de combustible inicial e hidrocarburos parcialmente oxidados. La existencia de estos gases puede ser atribuida a dos causas: falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica), o velocidad de inflamación muy baja (mezcla pobre). En el proceso de combustión se produce una serie de reacciones químicas, muy complejas y diversas, que dan lugar a la formación de gran variedad de compuestos orgánicos, como cetonas, ácidos carbónicos, acetileno, etileno, etc.

Normalmente, los hidrocarburos tienen un olor penetrante fácilmente identificable y en presencia de óxidos de nitrógeno y la luz solar forman productos de oxidación que irritan las mucosas. Algunos hidrocarburos aromáticos que forman parte del combustible, como el benzopireno, son considerados cancerígenos.

El plomo estaba presente en los gases de escape en muy pequeñas proporciones. Provenía de la composición de la gasolina, a la que en su elaboración se añadía en pequeñas



cantidades para mejorar la capacidad antidetonante del combustible. En la actualidad se tiende al empleo de gasolinas sin contenido de plomo para evitar el vertido de este componente contaminante, que actúa como veneno celular para la sangre y la médula ósea, y provoca daños en el sistema nervioso, especialmente de los niños. El tetraetilo de plomo añadido a la gasolina en su elaboración es sustituido actualmente por MTBE (metilterciobutiléter), que no es contaminante.

Otro de los compuestos evacuados por el sistema de escape es el dióxido de azufre, que proviene de las impurezas que contiene el combustible y provoca niebla contaminante y lluvias ácidas. Las gasolinas actuales tienen un contenido de azufre realmente bajo, lo cual se logra mejorando su proceso de elaboración.

También salen por el escape partículas sólidas en formas de ceniza y hollín, procedentes de una combustión incompleta, sobre todo en los motores diesel. Las mayores concentraciones de este contaminante se producen si durante el proceso de combustión existen en la cámara zonas con una mezcla muy rica sometida a elevadas presiones y temperaturas.

La composición química de los combustibles se determina acorde con las expresión $C+H+O_c=1Kg$.

Cuando la combustión del combustible es completa se supone que, como resultado de las reacciones del carbono y del hidrógeno con el oxígeno del aire, se forman anhídrido carbónico y vapor de agua respectivamente. En este caso la oxidación del carbono y del hidrógeno del combustible corresponde a las ecuaciones químicas:



La menor cantidad de oxígeno O_0 que se necesita suministrar desde el exterior al combustible para su completa oxidación se denomina cantidad teórica de oxígeno. Se deduce que para la combustión completa de 1Kg de combustible se necesita la siguiente cantidad de oxígeno:

$$O_0 = \frac{8}{3}C + 8H - O_c$$

En los motores de combustión interna el oxígeno necesario para la combustión se encuentra en el aire que se introduce al cilindro durante el proceso de admisión. Considerando que el contenido en masa de oxígeno en el aire es de aproximadamente 23% y en volumen



21% obtendremos respectivamente la cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1Kg de combustible, en Kg:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right)$$

O en kmol

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{21} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32} \right)$$

En el motor del automóvil la cantidad de aire realmente consumida puede ser, en función del tipo de formación de la mezcla, de las condiciones de encendido y combustión así como del régimen de funcionamiento, mayor, igual o menor que la necesaria teóricamente para la combustión completa.

La relación entre la cantidad real de aire que ingresa al cilindro y la cantidad teóricamente necesaria para la combustión de 1Kg de carburante se denomina coeficiente de exceso de aire y se designa con la letra λ .

En los motores de gasolina con encendido de la mezcla homogénea por chispa y con regulación combinada, cuando la mariposa de gases está completamente abierta, la mayor economicidad y el transcurso suficientemente estable del proceso de combustión se alcanza para valores de λ entre 1,1 y 1,3. La máxima potencia de estos motores se obtiene enriqueciendo ligeramente la mezcla, $\lambda=0,85-0,9$. Para alcanzar un trabajo estable del motor a bajas cargas y en vacío se necesita un mayor enriquecimiento de la mezcla. En caso de $\lambda < 1$, debido a la insuficiencia de oxígeno, el combustible no se quema totalmente, como consecuencia de lo cual durante la combustión el desprendimiento de calor es incompleto y en los gases de escape aparecen los productos de la oxidación incompleta como CO, H, CH₄.

En el motor de encendido por chispa el aire y el combustible, en forma de mezcla, se suministran en el proceso de admisión al cilindro. La cantidad total de mezcla de carburante en kmol, constituida por vapores de combustible y aire, en caso de combustión completa de 1Kg de carburante es:

$$M_1 = \lambda L_0 + \frac{1}{\mu_c}$$

Donde μ_c es la masa molecular del combustible.



Cuando el combustible arde totalmente ($\lambda \geq 1$) los productos de la combustión están constituidos por anhídrido carbónico, vapor de agua, oxígeno sobrante y nitrógeno que se ha formado como resultado de la reacción química. La cantidad total de productos de la combustión (en kmol), referida a 1Kg de combustible es:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}$$

La cantidad en kmol de los componentes por separado de los productos de la combustión se hallan aplicando las siguientes expresiones:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}$$

$$M_{O_2} = 0,21(\lambda - 1)L_0$$

$$M_{N_2} = 0,79\lambda L_0$$

Las expresiones anteriores muestran los resultados finales de las reacciones químicas en el transcurso de las cuales se desprende energía calorífica. Conjuntamente con la existencia de los principales componentes de los productos de la combustión se forman también otros componentes en pequeñas cantidades. Su presencia se debe a la combustión incompleta de la mezcla aire combustible y a las reacciones colaterales que transcurren durante el proceso de oxidación a alta temperatura. Entre estos componentes figuran el monóxido de carbono (CO), que se localiza en los productos de combustión incluso con exceso de aire ($\lambda \geq 1$); óxidos de nitrógeno, que representan una mezcla de diferentes óxidos (NO, NO₂ y otros), entre los cuales los más tóxicos son el NO₂ y su polímero N₂O₄; los hidrocarburos C_xH_y, que son un grupo considerable de diferentes uniones de hidrocarburos que no han reaccionado; aldehídos, tales como la acroleína CH₂=CH-CH=O y el formaldehído H₂C=O; partículas de carbonilla, compuesta fundamentalmente de carbono C sólido.

Dichos componentes se encuentran en los productos de combustión en pequeña cantidad e influyen insignificativamente sobre el efecto térmico de la reacción siendo $\lambda \geq 1$. En caso de $\lambda < 1$ el efecto térmico de la reacción disminuye como resultado de la formación en CO de una parte del carbono. La presencia de estos componentes es en extremo indeseable, ya que poseen propiedades tóxicas. Los mencionados componentes una vez que se expulsan del cilindro del motor, conjuntamente con los gases de escape, contaminan el medio ambiente y



perjudican a la salud del hombre. Por eso, últimamente se presta especial atención a la neutralización de los gases de escape que se expulsan a la atmósfera.

La naturaleza de formación de los componentes indicados en el proceso de combustión es variada. Los componentes CO, C_xH_y, los aldehídos y la carbonilla aparecen como resultado de la combustión incompleta y de la descomposición térmica de los hidrocarburos, incluso cuando hay exceso de oxígeno. La cantidad de dichos componentes depende del carácter de cómo transcurren las reacciones químicas intermedias.

El monóxido de carbono se forma relativamente en grandes cantidades en los motores de encendido por chispa al trabajar con mezcla enriquecida. En caso de trabajar con mezcla pobre, en particular con inyección de carburante a la cámara de combustión, el combustible se distribuye de manera irregular en el volumen y aparecen zonas en las cuales $\lambda < 1$. En estas condiciones también puede formarse CO, sin embargo su concentración es relativamente pequeña.

El contenido de los hidrocarburos C_xH_y en los productos de la combustión se explica por la existencia de zonas cercanas a las paredes en la cámara de combustión, donde como resultado del contacto de la carga con las paredes que poseen temperaturas relativamente bajas, tiene lugar el apagado de la llama.

Los aldehídos aparecen en aquel período en el que el proceso de oxidación se realiza a bajas temperaturas. Este fenómeno se observa en el arranque así como en los regímenes de trabajo en aquellas zonas donde la mezcla ardiente se enfría por superficies relativamente frías que limitan la cámara de combustión.

La carbonilla, que está compuesta fundamentalmente de carbono, se forma como resultado de la desintegración de las moléculas de hidrocarburos siendo insuficiente el oxígeno. En los motores de carburador la composición de la mezcla es más uniforme y siendo normal el funcionamiento del motor la carbonilla se forma prácticamente en cantidades insignificantes.

Los óxidos de nitrógeno resultan al aparecer el oxígeno elemental en aquellas zonas de la cámara de combustión en las cuales bruscamente se eleva la temperatura, debido a la reacción química de oxidación de los hidrocarburos del carburante. La cantidad de óxidos de nitrógeno formados depende del contenido de nitrógeno y oxígeno en los productos de la combustión.

La magnitud del coeficiente de exceso de aire λ para la cual se obtiene el mayor aprovechamiento de la combustión se denomina límite de empobrecimiento efectivo de la mezcla. Este límite depende de la temperatura y presión bajo las cuales se efectúa la inflamación, de la concentración de combustible en la zona de la bujía, de la distribución de la composición de la mezcla en el volumen de la cámara de combustión, de la intensidad de la fuente de encendido, del tipo de cámara de combustión y del régimen de funcionamiento del motor.

La composición de la mezcla ejerce considerable influencia sobre la formación de los componentes tóxicos de los productos de combustión. Cuando el motor funciona con una mezcla cuya composición corresponde al límite de empobrecimiento efectivo, en los productos de combustión no hay CO, mientras que el contenido de C_xH_y es mínimo. A medida que se enriquece la mezcla el contenido de CO y C_xH_y aumenta. Al empobrecer la mezcla por encima del límite de empobrecimiento efectivo el contenido de C_xH_y en los productos de la combustión también aumenta debido al empeoramiento del proceso de combustión.

El contenido de los óxidos de nitrógeno NO_x , al haber exceso de oxígeno, es tanto mayor cuanto más elevada sea la temperatura del ciclo. En los motores de encendido por chispa la temperatura máxima del ciclo se logra para valores de $\lambda=0,95$, de modo que debido a la ausencia de oxígeno libre la cantidad de NO_x resulta pequeña. La máxima cantidad de NO_x se forma para valores de λ un poco mayores que la unidad ($\lambda \approx 1,05-1,1$), cuando la temperatura difiere insignificadamente de la máxima y al mismo tiempo en los productos de la combustión hay cierta cantidad de oxígeno libre.

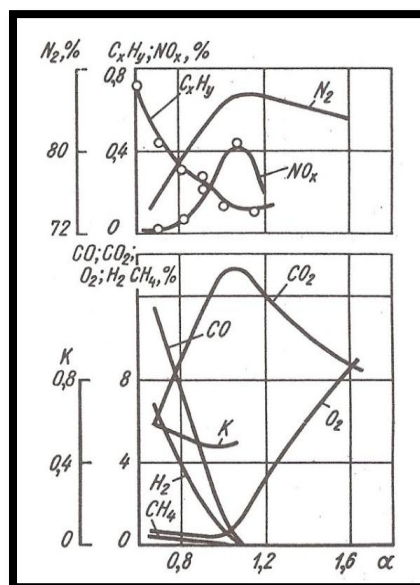


Figura 6. Variación del contenido de los componentes en los productos de combustión en función de la carga



2.2. CARBURADOR

La formación externa de la mezcla aire-combustible en los motores de carburador transcurre en el sistema de admisión y antecede al encendido de la carga.

Para obtener una formación homogénea de la mezcla aire-combustible es necesario que la distribución de los vapores de combustible en el aire sea uniforme, es decir, la relación entre el número de moléculas de combustible y el número de moléculas de oxígeno del aire que las rodean resulte igual en todo en todo el volumen de la cámara de combustión. Dicha condición puede observarse si el combustible y el aire conforman una mezcla carburante homogénea siendo además necesario que el combustible se evapore por completo.

En los motores de carburador el proceso de formación de la mezcla empieza en el carburador, continúa en el colector de aspiración y culmina en el cilindro. Lo complejo que resulta obtener una mezcla aire-combustible homogénea en caso de formación externa consiste en que el aire empieza a mezclarse con el combustible cuando éste se encuentra en el estado bifásico, o sea, cuando una parte del combustible se encuentra en la fase de vapor y la otra en estado líquido.

En los modernos motores rápidos el proceso de formación de la mezcla se realiza en un lapso reducido. Para acelerar la vaporización de combustible, inyectado al flujo de aire, su chorro deberá pulverizarse en gotas muy finas, en cuya superficie transcurre la difusión del combustible volatilizado al aire. En este caso se efectúa tanto la difusión molecular como la turbulenta, es decir, tiene lugar una penetración recíproca de moléculas y de pequeños volúmenes de combustible y aire.

La dificultad de formar una mezcla aire-gasolina homogénea consiste también en que la relación de los volúmenes de los componentes constituye aproximadamente 1:50. Siendo iguales los volúmenes de los componentes de la mezcla resulta fácil obtener una mezcla uniforme, por ejemplo, al mezclar el aire con gas natural.

2.2.1. FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL PROCESO DE CARBURACIÓN

Una particularidad del proceso de carburación consiste en que en el sistema de formación de la mezcla transcurren simultáneamente todos los procesos físicos de acción recíproca.



Para un análisis más completo de esta interacción estudiemos separadamente el carácter con que transcurren los procesos individuales.

Pulverización del combustible. El chorro de combustible que pasa por los conductos del carburador cae en el flujo del aire en el difusor. Por efecto de la energía cinética del aire en movimiento el combustible adquiere la forma de un cono con el vértice en la boca del surtidor y comienza a pulverizarse.

El carácter que obtiene el chorro pulverizado de combustible depende mucho de sus propiedades. Por ejemplo, para el combustible que posea un coeficiente de tensión superficial más elevado se requiere más energía en la pulverización del chorro, por eso este combustible se fracciona en gotas más grandes sobre las que actúan considerables fuerzas que las desvían del eje del flujo y consecuentemente se forma un cono con un gran ángulo en el vértice que se asienta más intensamente sobre las paredes de la cámara de mezcla del carburador.

En el carácter de la pulverización influye también la temperatura del combustible. Aumentando la temperatura, el trabajo que se gasta en destruir la película superficial del combustible disminuye.

En el caso de que el fraccionamiento del combustible en gotas comience antes de que éste empiece a pasar al flujo principal de aire facilita la posterior volatilización del mismo. Un fraccionamiento fino y uniforme del combustible disminuye la presencia de elementos tóxicos en los productos de la combustión.

Vaporización del combustible. La vaporización del combustible comienza prácticamente desde el instante en que empieza su derrame y fundamentalmente transcurre en el flujo de aire en movimiento. Cuanto más elevada sea la velocidad del flujo más intensamente ocurrirá el proceso.

Las gotas más pequeñas de las fracciones preponderantemente ligeras de la gasolina tienen tiempo de volatilizarse en la cámara de mezcla del carburador. Las partículas de combustible que no han tenido tiempo de volatilizarse son arrastradas por el aire y se evaporan durante el movimiento de la mezcla por el colector y en los cilindros del motor.



Las mayores gotas de combustible se asientan en las paredes de la cámara de mezcla así como también en la superficie interna del conducto de admisión, no muy lejos del carburador, formando una película de combustible.

La película de combustible, arrastrada por el flujo de aire, se mueve por las paredes internas del conducto, pero con velocidades considerablemente menores en comparación a la que posee el aire mezclado con el combustible volatilizado y con gotitas de gasolina suspendidas en él. Una parte de la película empieza a volatilizarse a medida que se desplaza.

La intensidad de la formación de la película depende de las propiedades del combustible, del régimen de funcionamiento del motor, de su estado térmico y de la estructura del colector de admisión. Para disminuir la formación de la película el colector de admisión se calienta con los gases de escape por el líquido refrigerante.

Una de las causas de la distribución irregular de la mezcla en los cilindros consiste en la desigual distancia por la que se desplaza la mezcla durante su movimiento desde el carburador hasta los cilindros. La distribución irregular de la fase líquida (la película) conduce a que la composición del fluido operante en los cilindros sea diferente y al empeoramiento de los índices de potencia y economía del motor.

Cuando la película del combustible o las gotas del mismo no volatilizado penetran a los cilindros del motor diluyen y quitan de las paredes de los cilindros la capa de lubricante, como consecuencia de lo cual se eleva el desgaste de las piezas del grupo cilindro-pistón.

Mezclado del combustible con el aire. Desde el instante en que empieza a fluir el combustible del surtidor al flujo de aire comienza el mezclado del aire con el combustible vaporizado y no volatilizado. Cuanto más pequeñas sean las gotas de combustible suspendidas en el aire, tanto más movedizas serán y más homogénea resultará la composición de la mezcla.

La práctica demuestra que el combustible ingresa a los cilindros del motor no del todo vaporizado. En el cilindro tiene lugar el intercambio de calor entre la mezcla de carburante que ha ingresado y los gases residuales, además de que al fluido operante se le suministra calor desde las superficies calientes de las piezas, así como también la mezcla se calienta por efecto de la compresión. Esto contribuye a la volatilización suplementaria del combustible que ingresa en fase líquida a los cilindros del motor.

2.2.2. PROCESO DE TRABAJO EN UN CARBURADOR ELEMENTAL

Cualquier carburador se basa en el funcionamiento del aparato más simple, el carburador elemental. Para que su característica sea próxima a la ideal se emplean diferentes sistemas de compensación así como dispositivos auxiliares.

En la figura 7 se ilustra el esquema de un carburador elemental (de un solo surtidor). El aire ingresa al difusor, que tiene la forma de un Venturi, habiendo pasado por el filtro. En la cuba se mantiene el nivel de gasolina constante, aunque en realidad varía insignificadamente en función del régimen de trabajo. El combustible pasa por el calibre por efecto de la caída de presiones entre la cuba del carburador y el difusor. Este sale a la zona donde la velocidad del flujo de aire y el enrarecimiento son cercanos a sus valores máximos. La mezcla de aire y combustible pulverizado se dirige desde la cámara de mezcla por el colector de admisión hacia los cilindros.

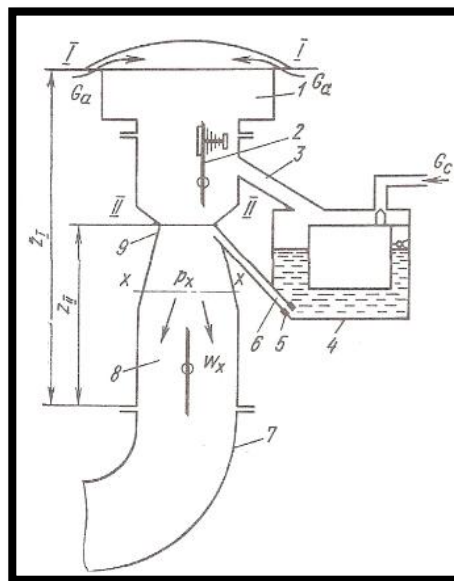


Figura 7. Esquema de un carburador elemental

El aire proveniente de la atmósfera pasa por el depurador de aire, donde se retiene las partículas de polvo suspendidas en el aire e ingresa al conducto de aire del carburador.

Durante el funcionamiento del motor, a excepción de los regímenes de puesta en marcha, el conducto de aire no ejerce resistencia considerable al flujo de aire puesto que la sección del conducto es suficientemente grande.

Desde el conducto de aire éste se dirige al difusor, donde su velocidad aumenta considerablemente y la presión disminuye. Para disminuir las pérdidas del flujo de aire se

utilizan difusores con un ángulo de entrada de 30° y en la salida de 7° , con una suave transición del perfil. En la práctica el perfil de los difusores, especialmente en los carburadores con un solo difusor, difiere del óptimo debido a la necesidad de disminuir la altura del carburador. Debido a la derogación respecto a la mejor correlación de las dimensiones del difusor, el flujo de aire en movimiento se comprime, lo que a su vez conduce al desplazamiento de la zona de los mayores enrarecimientos en dirección del movimiento del aire. El movimiento del flujo de aire en el difusor del carburador tiene un carácter turbulento en un amplio campo de regímenes. El movimiento turbulento del aire con intensos torbellinos es necesario para mejorar el fraccionamiento del combustible que sale del surtidor a considerable velocidad.

En la figura 8 se muestra el esquema de movimiento del combustible desde la cuba del carburador a través del calibre, del los canales, del surtidor y del difusor. El nivel de combustible en la cuba debe ser menor que en la boca del surtidor en una magnitud de valor aproximado entre 4 y 8 mm para evitar que el combustible salga por el surtidor cuando el carburador se encuentra en posición inclinada.

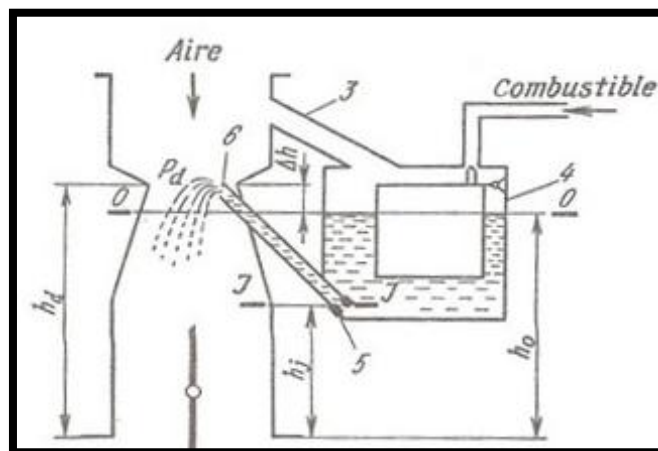


Figura 8. Flujo de combustible a través del carburador

Cuando el aire se desplaza por el colector de admisión el enrarecimiento no se mantiene constante. En los tramos donde la sección se contrae o hay resistencias locales elocuentes (mariposa de gases, válvula de admisión) la depresión se incrementa de forma relativamente brusca.

Las características del carburador elemental no cumplen los requerimientos del motor ya que con el aumento de la carga la mezcla se enriquece, sobre todo a pequeñas y medianas cargas, en lugar de empobrecerse. Si el carburador elemental se regula a la composición de la mezcla necesaria para que el motor funcione a elevadas cargas, entonces al pasar a cargas

pequeñas la mezcla se empobrecerá tanto que saldrá fuera del límite de inflamabilidad y no tendrá lugar la combustión de la mezcla.

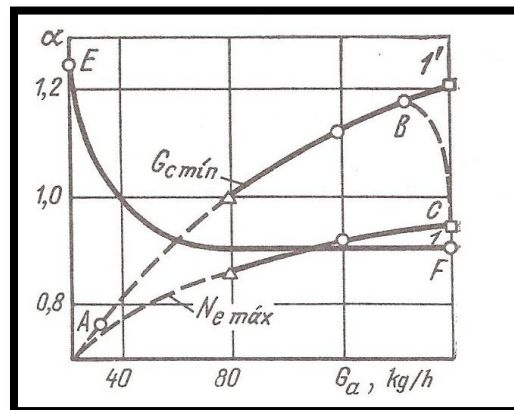


Figura 9. Característica de carga de los carburadores:

ABC – perfecto: EF – elemental

El carburador elemental no proporciona el enriquecimiento de la mezcla que es indispensable para acelerar la marcha del automóvil. En la figura 9 se muestran las características de los carburadores perfecto y elemental. Para cambiar las características del carburador elemental y asemejarlas a las ideales se requiere utilizar:

- Un sistema de marcha en vacío (ralentí) que enriquezca la mezcla a pequeñas cargas y a marcha en vacío.
- Un sistema de dosificación principal.
- Un sistema de compensación que corrija el suministro de combustible del sistema anterior.
- Un sistema de enriquecimiento de la mezcla cuando se pasa a funcionar a las máximas cargas (economizador).
- Dispositivos adicionales que garanticen el arranque seguro del motor y buena aceleración así como la disminución de la toxicidad de los gases quemados.

El sistema de dosificación principal con los dispositivos adicionales deberá suministrar a los cilindros la cantidad de combustible suficiente para el funcionamiento normal del motor en el intervalo de variación de pequeñas cargas hasta la carga correspondiente al límite de empobrecimiento efectivo con la mariposa de gases casi totalmente abierta. Semejante característica puede obtenerse aplicando varios métodos de compensación de la composición de la mezcla, es decir, corrigiendo la curva característica del carburador elemental: regulando el enriquecimiento en el difusor, emulsionando el combustible, combinando los dos métodos citados.

El sistema de marcha en vacío o ralentí posibilita el funcionamiento del motor sin carga, especialmente a baja frecuencia de rotación del cigüeñal. En la mayoría de los carburadores modernos el sistema de ralentí cumple simultáneamente las funciones del sistema de compensación en los regímenes de reducción de gases. Cuando no hay carga externa, en el régimen de ralentí el motor consume una pequeña cantidad de mezcla, por eso la mariposa de gases esté entornada casi por completo. Para pequeños caudales de aire el vacío en el difusor es insignificante e insuficiente para que el combustible se eleve desde su nivel en la cuba hasta el orificio de salida del surtidor, sin embargo, detrás de la mariposa de gases el vacío alcanza valores elevados y se utiliza para suministrar combustible al conducto de admisión.

Como se infiere en la figura 10 el combustible ingresa al calibre de ralentí desde la cavidad posterior al calibre principal. Para disminuir el vacío en el espacio detrás de la mariposa de gases, en los canales del sistema de ralentí se introduce aire emulsionado a través del orificio calibrado y el orificio regulado por el tornillo del sistema de marcha en vacío.

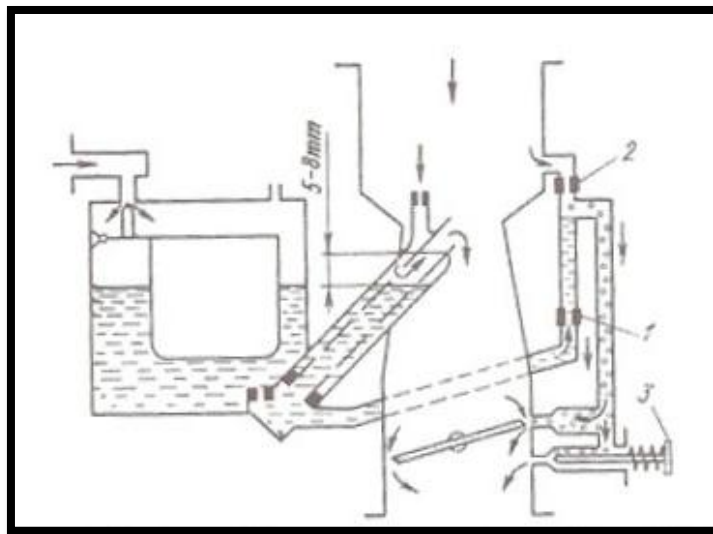


Figura 10. Esquema del sistema de marcha en vacío

La emulsión aire-combustible se suministra a la cámara de mezcla del carburador desde el sistema de ralentí a través de los orificios A y B. El orificio inferior ubicado detrás de la mariposa de gases, al resultar ésta cerrada, se encontrará en la zona de los máximos enrarecimientos cuando el motor funciona a baja frecuencia de rotación del cigüeñal. Al abrir la mariposa de gases el enrarecimiento en el orificio inferior disminuye paulatinamente, mientras que el orificio superior quedará en la zona de elevado enrarecimiento, de modo que gradualmente se incrementa el suministro de combustible desde el sistema de ralentí



imposibilitando la discontinuidad entre el suministro de combustible desde el ralentí y la puesta en funcionamiento del sistema de dosificador principal.

Cuando el enrarecimiento en el sistema de ralentí se iguala a la presión de combustible la salida de combustible del sistema de marcha en vacío cesa. Al seguir incrementando la carga la dirección del movimiento de aire en los canales del sistema de ralentí se invierte, lo que se explica por el hecho de que el enrarecimiento en el difusor resulta mayor que la depresión detrás de la mariposa de gases en la zona de los orificios A y B.

El economizador o enriquecedor de mezcla de carburante suministra combustible adicional, variando de esta manera la composición de la mezcla al pasar del régimen , en el cual se obtienen los mejores índices económicos del motor, al régimen de plena carga.

Los economizadores pueden ser mecánicos o neumáticos. El enriquecimiento requerido de la mezcla (10-15%) se logra por la apropiada relación entre las secciones del calibre principal y el del economizador.

La ventaja del mando mecánico del economizador reside en su simplicidad. La válvula del economizador se abre cuando la mariposa de gases está abierta en un 85-90%. La inconveniencia del mando mecánico consiste en que la puesta en acción del economizador se determina solamente por la posición de la mariposa y no depende del carácter de variación del consumo de aire ni de la potencia en función del ángulo de apertura de la mariposa de gases a diferentes frecuencias de rotación del cigüeñal.

Un incremento más uniforme de la potencia del motor en todos los regímenes de velocidad puede obtenerse aplicando un economizador neumático (figura 11b). El espacio detrás de la mariposa de gases está unido al cilindro 13 por medio del canal 12. Para pequeñas y medianas cargas, por efecto del enrarecimiento en este espacio, el émbolo se mantiene en la posición superior, a pesar de la acción del resorte 15. Sobre la superficie inferior obra la presión atmosférica. La válvula 7 del economizador está apretada en su asiento por medio del resorte 6. Para considerables cargas la depresión detrás de la mariposa de gases decrece. Cuando la fuerza del resorte 15 resulta suficiente para vencer la fuerza que mantiene el émbolo del mando en la posición superior, la varilla del mismo empuja a la válvula 7 y el combustible pasa al surtidor a través del calibre 8 del economizador.

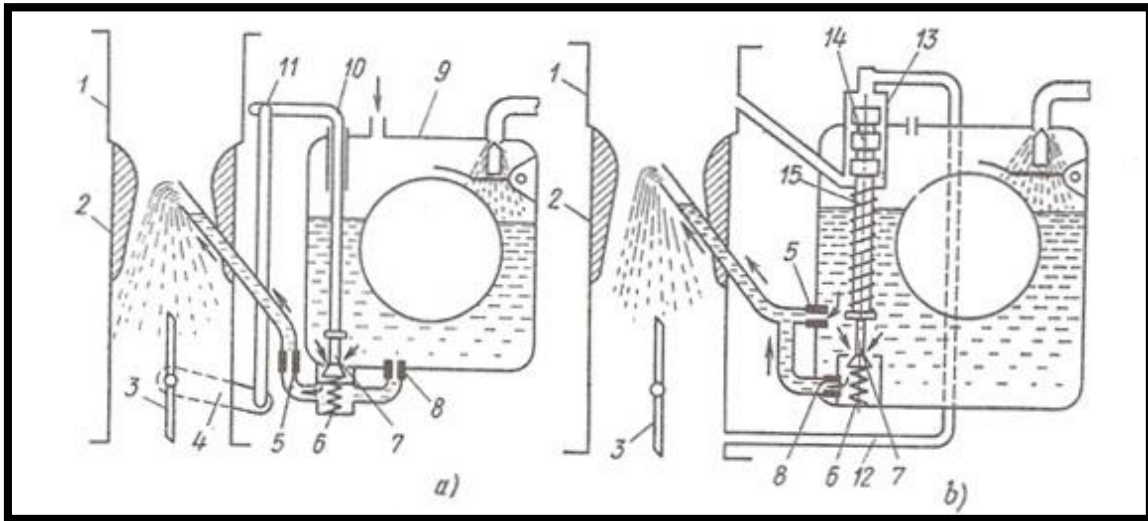


Figura 11. Esquemas de economizadores:
a) con mando mecánico; b) con mando neumático

La ventaja principal del economizador con mando neumático reside en que obra en cada caso con un enrarecimiento asignado en el espacio detrás de la mariposa de gases independientemente de la frecuencia de rotación, lo que mejora las condiciones para pasar a funcionar con mayores sobrecargas.

El sistema de arranque de la mayoría de los carburadores representa en sí una válvula de mariposa montada en el conducto de admisión y dotada de una válvula automática. El cierre de la mariposa limita el ingreso de aire al carburador y crea una elevada depresión en el difusor, lo que origina una salida intensa de combustible desde los surtidores. Cuando la mezcla se mueve por el conducto de admisión en el proceso de arranque de un motor no calentado sobre sus paredes frías se condensa y se deposita una considerable cantidad de combustible, llegando hasta los cilindros una parte insignificante, por lo que se requiere enriquecer la mezcla. Si después del arranque del motor no se entreabre inmediatamente la mariposa de aire, entonces la válvula automática deja pasar hacia el motor la cantidad mínima de aire. En muchos carburadores el eje de la mariposa está desplazado con relación al eje de la garganta, lo que contribuye a su apertura después del arranque cuando la presión debida a la velocidad de aire se incrementa.



2.3. INYECCIÓN

Los sistemas de inyección de gasolina resuelven los problemas de contaminación con mayores garantías que la antigua carburación, de manera que solamente estos sistemas son capaces de cumplir las actuales normas anticontaminación, al tiempo que mejoran sensiblemente los consumos de combustible y el comportamiento de marcha del motor, razones éstas suficientes para que los constructores se decidieran definitivamente por la adopción de estos sistemas, hasta el punto que la totalidad de los vehículos fabricados desde 1993 están equipados con sistemas de inyección, al que se añaden diferentes dispositivos para el tratamiento posterior de los gases de escape y vapores generados en el motor o el depósito de combustible. Complementan estos sistemas las notables mejoras aplicadas a los diferentes dispositivos mecánicos del motor como la distribución variable, taqués hidráulicos, encendidos electrónicos, etc.

En estos sistemas, el combustible es inyectado en el colector de admisión, justamente delante de las válvulas de admisión, por medio de un sistema de inyección autónoma, gobernado hidromecánicamente o mediante un dispositivo electrónico. En la fase de admisión, la corriente de aire que entra al cilindro arrastra los vapores de gasolina vertidos junto a la válvula, formando una mezcla homogénea que se introduce en el cilindro. Comparado con la carburación convencional, se consigue así un mayor control de la mezcla aire-combustible en cualquiera de las condiciones de marcha del motor, de lo que resultan unos niveles reducidos de emisión de gases tóxicos, mejor rendimiento del motor y economía de consumo.

La supresión del carburador permite una concepción óptima de los colectores y conductos de admisión, gracias a la cual, se mejora notablemente el llenado de los cilindros, del que resulta una potencia específica mayor y una curva característica del par motor mejor adaptada a las condiciones de circulación del vehículo.

A través de los colectores y conductos de admisión solamente circula aire, inyectándose la gasolina justamente en la entrada al cilindro, dosificándola adecuadamente de manera que el motor reciba la cantidad justa para sus necesidades reales.

2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN

De acuerdo con las características específicas de funcionamiento, los sistemas de inyección de gasolina pueden clasificarse en tres grandes grupos: los sistemas de inyección mecánicos, los electromecánicos y los electrónicos. Los primeros introducen el combustible en



el motor por medio de inyectores que permanecen abiertos continuamente, a los que se hace llegar el combustible a una presión constante. Los del segundo grupo son una variante del primero y funcionan de manera similar, pero en este caso, se incluye un sistema electrónico de control, capaz de modificar el caudal de combustible enviado a los inyectores, adaptándolo a las diferentes condiciones de funcionamiento. En los sistemas de inyección electrónica, el combustible es introducido en el motor por medio de inyectores electromagnéticos, cuyas aperturas son gobernadas por un sistema electrónico de control, que adapta los tiempos de inyección a las distintas fases de funcionamiento, en función de las informaciones recibidas de una serie de sensores acoplados al motor.

Según el número de inyectores utilizados, los sistemas se clasifican en dos grupos: inyecciones monopunto e inyecciones multipunto. En los sistemas de inyección monopunto se dispone un solo inyector o electroválvula, generalmente acoplado en el lugar del carburador, que introduce el combustible en el colector de admisión. Cuando este inyector está gobernado electrónicamente, el sistema se denomina inyección electrónica monopunto. Las inyecciones multipunto disponen de un inyector por cilindro, generalmente emplazados en las proximidades de las válvulas de admisión.

También pueden clasificarse los sistemas de inyección atendiendo al número y forma de las inyecciones. En este apartado se establecen dos grandes grupos: la inyección continua y la inyección intermitente. En el primer grupo los inyectores introducen el combustible de forma continua en el colector de admisión, previamente dosificado y a presión. En el segundo grupo los inyectores o electroválvulas introducen el combustible de forma intermitente, es decir, cada inyector se abre y se cierra continuamente. Cuando las inyecciones se producen sucesivamente en cada inyector, una tras otra, el sistema se denomina de inyección secuencial; por el contrario, si el combustible es inyectado por todos los inyectores a la vez, el sistema recibe el nombre de inyección simultánea.

Los sistemas de inyección presentan, frente a la carburación convencional, las siguientes ventajas:

- Menor consumo de combustible
- Mayor potencia del motor y mejor aceleración
- Mejor arranque y comportamiento en frío del motor
- Menor contaminación por gases de escape



El principal inconveniente que presentan los sistemas de carburación es el de repartición de la mezcla para los diferentes cilindros. Dada la estructura de los colectores y la necesidad de formar una mezcla que alimente suficientemente incluso al cilindro más desfavorable, es preciso enriquecerla para compensar las condensaciones de combustible en los conductos más largos (de los cilindros extremos). Los sistemas de inyección disponen de un inyector para cada cilindro, con lo que se asegura que cada uno reciba la cantidad más adecuada de combustible en función de las necesidades de la marcha y con la dosificación más propicia. Ello supone una disminución del consumo de combustible y un aumento de la potencia específica, al tiempo que disminuyen notablemente las emisiones de gases contaminantes, pues la mezcla proporcionada al motor es la más adecuada a las condiciones de funcionamiento en cada caso.

La fácil adaptación de los caudales de combustible inyectados para cada una de las condiciones de funcionamiento del motor y la rapidez con que pueden ser variados en los sistemas de inyección, hacen que las prestaciones del motor en las transiciones de funcionamiento (aceleraciones, arranque en frío, fase de calentamiento, etc.), se vean mejoradas notablemente.

2.3.2. ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DE GASOLINA

Desde los sistemas de inyección de tipo hidroneumático hasta los electrónicos secuenciales, la estructura es similar, aunque bien es cierto que cada uno de los diferentes tipos dispone de componentes específicos, cuyo funcionamiento y características difieren notablemente de unos a otros. En la figura 12 se muestra la estructura de un sistema de inyección continua de gasolina de mando hidromecánico. En este caso se trata del Bosch K-Jetronic, en el que una bomba eléctrica 3 aspira el combustible del depósito 2 y lo envía a presión al dosificador-distribuidor 1b, a través de un acumulador de combustible 4 y un filtro 5. La presión de alimentación es mantenida sensiblemente constante, gracias a un regulador 6 incorporado en el dosificador-distribuidor. Desde aquí, el combustible puede llegar continuamente hasta cada uno de los inyectores 7, que lo introducirán finamente pulverizado en los cilindros, en los momentos adecuados.

El conjunto regulador de mezcla 1, asegura la relación aire-combustible deseada. Está constituido por un caudalímetro de aire 1ª y el dosificador-distribuidor 1b. El primero de ellos lo forma una placa sensora situada en un estrechamiento o difusor, que toma una cierta posición en función del aire que pasa a través de él a los cilindros. El movimiento de esta placa

sensora es transmitido por un sistema de palancas a un pistón de control, incorporado en el dosificador-distribuidor. En función de la posición de este pistón, la rampa de distribución del mismo permite el paso de mayor o menor cantidad de combustible a cada uno de los inyectores, a los que es distribuido por medio de un regulador de presión diferencial.

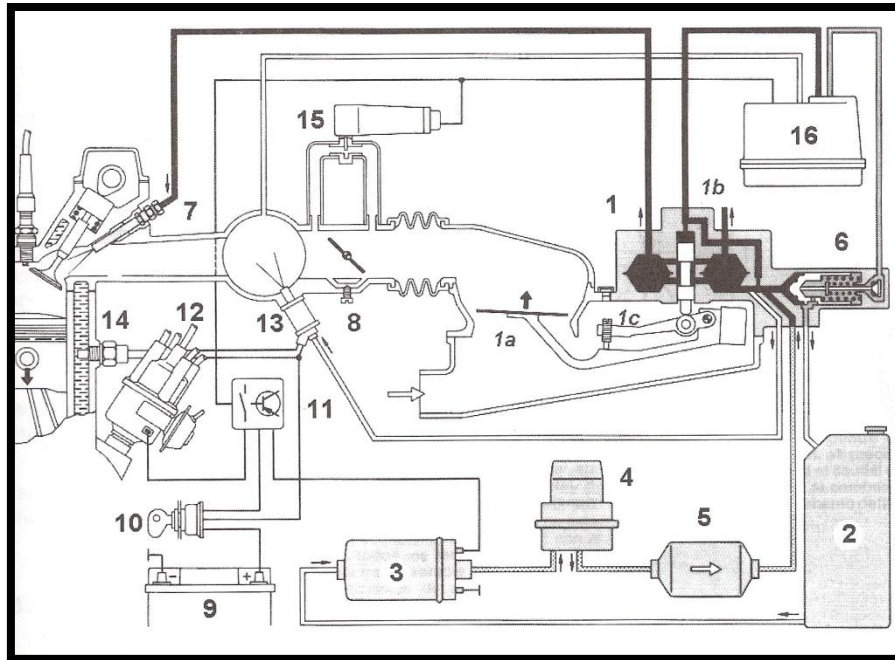


Figura 12. Sistema de inyección Bosch K-Jetronic

La medida de caudal de aire y la dosificación del carburante son armonizadas para el ralentí por medio de un tornillo de reglaje 1c, que fija la posición de reposo de la placa sensora y la del pistón de control.

Para el arranque en frío se dispone de un inyector 13 de mando electromagnético, que inyecta un suplemento de carburante en el colector de admisión, en una caja de aire formada al efecto. Un termocontacto temporizado 14 determina la duración del funcionamiento de este inyector y un mando de aire adicional 15 estabiliza la velocidad del ralentí. Durante la fase de calentamiento del motor, el regulador 16 asegura el enriquecimiento suficiente de la mezcla, hasta que el motor alcanza su temperatura de régimen.

Así pues, el sistema Bosch K-Jetronic es un dispositivo autónomo de inyección continua a baja presión, donde el volumen de aire aspirado por el motor es medido directamente y sirve de parámetro esencial para determinar la cantidad de combustible a inyectar.

En la figura 13 se muestra la disposición de otro sistema de inyección de gasolina, en este caso el Bosch L-Jetronic, de inyección intermitente con mando electrónico. Aquí, el

volumen de aire aspirado por el motor es medido por el caudalímetro 12, cuya señal es enviada al conjunto electrónico 6, que determina, en función de diversos parámetros, el comienzo de la inyección en cada uno de los cilindros y la duración de la misma. El carburante dosificado por los inyectores 7, de mando electromagnético, gobernados por el conjunto electrónico 6, el cual determina la duración de su apertura, en función del régimen y carga del motor.

En este sistema, el combustible es enviado desde el depósito 1 hasta la rampa de distribución 4, por medio de la bomba 2. El regulador 5 mantiene una determinada presión en la rampa, que está aplicada a cada uno de los inyectores y hará salir el combustible por ellos en cuanto el conjunto electrónico 6 envíe la señal de mando que provoca su apertura.

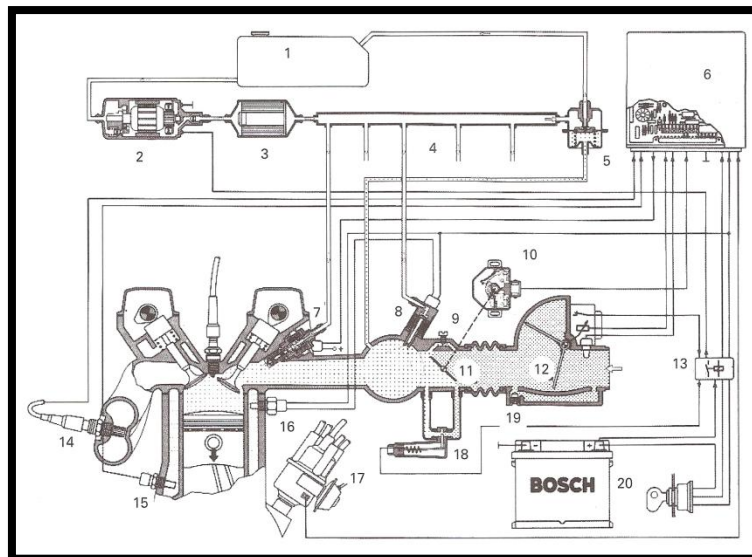


Figura 13. Sistema de inyección Bosch L-Jetronic

La figura 14 muestra en esquema la implantación de los componentes de un sistema de inyección electrónica monopunto, donde el inyector 8 ocupa el lugar del carburador, acoplado al colector de admisión. Hasta aquí llega el combustible desde el depósito 16, impulsado por una bomba eléctrica 17, a través del filtro 15, estableciéndose desde el inyector un circuito de retorno hacia el depósito para lograr la circulación continua de combustible, que resulta así refrigerado.

La apertura del inyector está gobernada por el calculador electrónico 10, que regula los instantes y tiempos de apertura en función de las necesidades del motor. A su vez, este calculador recibe diversas informaciones a través de las correspondientes sondas sensoras, instaladas en distintas partes del motor, a partir de las cuales determina los instantes y tiempos de apertura del inyector.

Una peculiaridad importante de este sistema es que el calculador 10 gobierna, al mismo tiempo que a inyección, el sistema de encendido, que en esta aplicación es del tipo electrónico integral, con captador de impulsos en el volante motor. Se añade también a este equipo de inyección un sistema antipolución con cánister y regulación por sonda lambda, comandados también por el calculador electrónico.

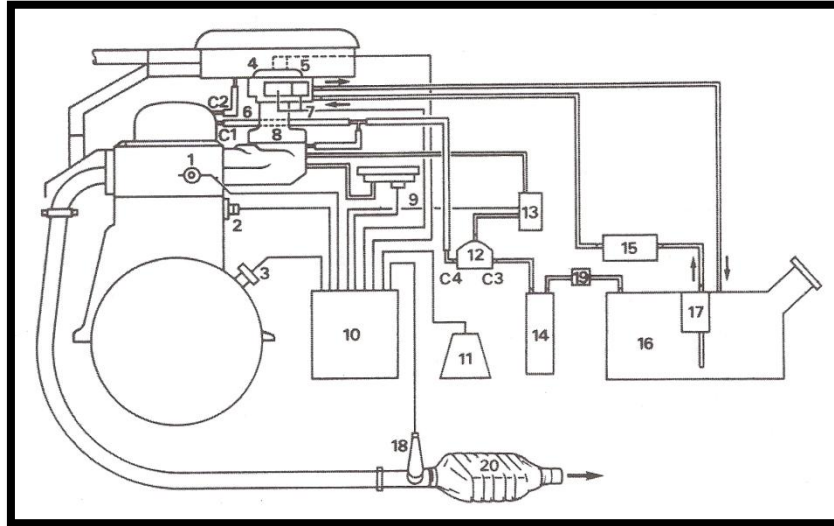


Figura 14. Sistema de inyección monopunto

Capítulo 3

MEDIDAS PARA EVITAR LOS CONTAMINANTES EN LOS VEHÍCULOS A MOTOR

Los gases de escape se producen principalmente en tres áreas:

1. Gases de escape procedentes del sistema de escape del motor
2. Gases procedentes del sistema de ventilación interna del motor
3. Gases procedentes del sistema de ventilación del depósito de combustible

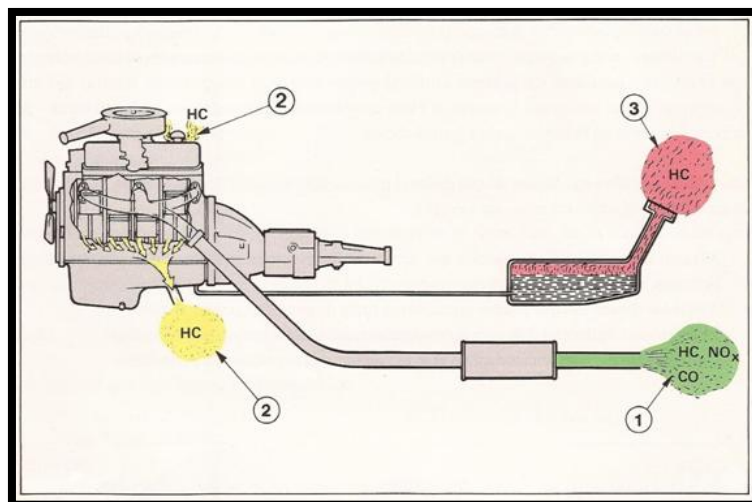


Figura 15. Procedencia de los gases de escape



La mayor proporción de gases se produce durante la combustión del combustible y se libera a la atmósfera a través del sistema de escape del motor.

Sin embargo también se producen gases en el cárter del motor, en forma de gases de fugas procedentes de los cilindros, y debidas a la evaporación de lubricantes. Considerables cantidades de combustible se evaporan en el depósito de combustible, dependiendo de la temperatura exterior (las emisiones extremadamente bajas como las producidas en las pastillas de freno o la abrasión de los forros no se consideran aquí).

Las medidas para evitar la contaminación las podemos dividir en diferentes bloques según sea la procedencia de los mismos.

En el caso de gases de escape las emisiones que se producen son resultado de la combustión (mezcla quemada de combustible/aire, rastros de aceite lubricante, condensados) y pueden reducirse optimizando el proceso de combustión con una producción de energía constante. El contenido contaminante del resto de las emisiones de escape se puede reducir mediante sistemas catalíticos.

En lo que respecta a los gases de escape procedentes del sistema de ventilación interna del motor cabe decir que los segmentos del pistón debería sellar el cilindro herméticamente, lo cual no es siempre posible. Durante la carrera de compresión y la de combustión, los gases bajo presión pasan por los segmentos hasta el cárter. La cantidad de gases que pasa aumenta con el desgaste de los pistones, los segmentos y la superficie de las paredes de los cilindros. Debido al calentamiento y enfriamiento del motor se forman condensados los cuales forman, a su vez, vapor de agua. El aceite lubricante es vaporizado y atomizado por el movimiento de las piezas del motor. Se forma una niebla de aceite que se mezcla con el vapor de agua y los gases de escape.

La tarea del sistema de ventilación positiva del cárter es canalizar la salida de los gases agresivos y evitar una presión excesiva en el cárter, que pueda provocar fugas de aceite.

Las emisiones menos abundantes, que se producen como resultado de la combustión, evaporación y vaporización, son conducidas al proceso de combustión a través del sistema de ventilación positiva del cárter, momento en el que pasan a formar parte de las emisiones de escape.

Los gases procedentes del sistema de ventilación del depósito de combustible, resultado de la evaporación del combustible, son también conducidos al proceso de

combustión a través de los sistemas de control de las emisiones de evaporación, pasando a resultar emisiones de escape.

Los motores de gasolina y diesel tienen las siguientes diferencias fundamentales, las cuales afectan de forma decisiva a las características de las emisiones:

	MOTOR DE GASOLINA	MOTOR DIESEL
Combustible	Gasolina	Gasoil
Formación de la mezcla	Fuera de la cámara de combustión	Dentro de la cámara de combustión
Control de la mezcla	Cuantitativa	Cualitativa
Encendido	Externo	Auto-explotión
Avance del encendido	Controlado directamente	No controlado directamente
Eficiencia mecánica	Aprox. 25%	Aprox. 35%

Tabla 1. Comparación de características entre motores gasolina y diesel

A la vista de las diferencias especificadas anteriormente entre los motores de gasolina y diesel, las medidas implantadas para la reducción de contaminantes difieren considerablemente.

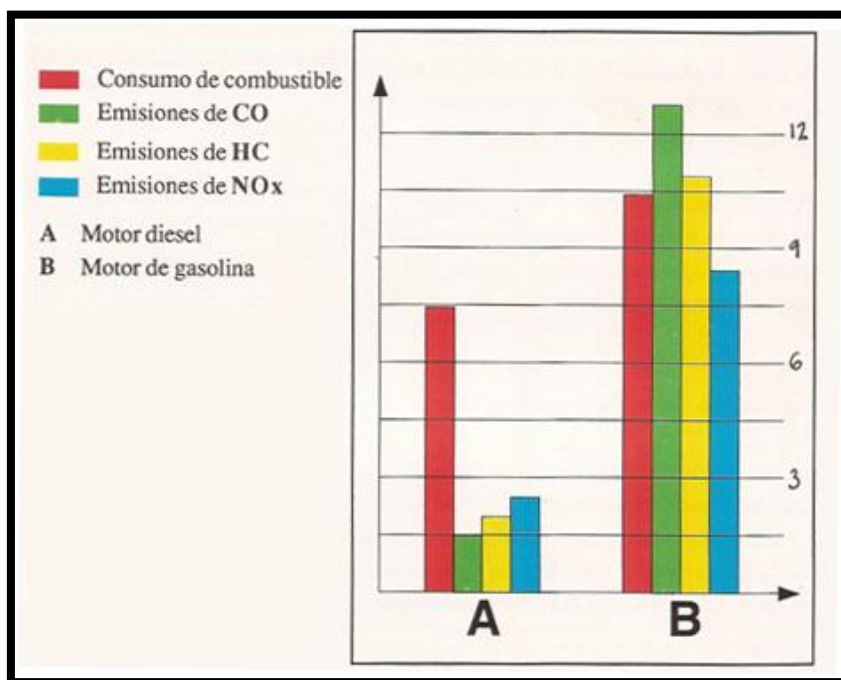


Figura 16. Comparativa de las emisiones de motores diesel y gasolina

En las siguientes gráficas podemos observar una comparación del consumo de combustible y de las emisiones de contaminantes gaseosos de los motores de vehículos a gasolina y gasoil con la misma cilindrada y con/sin sistemas de control de emisiones.

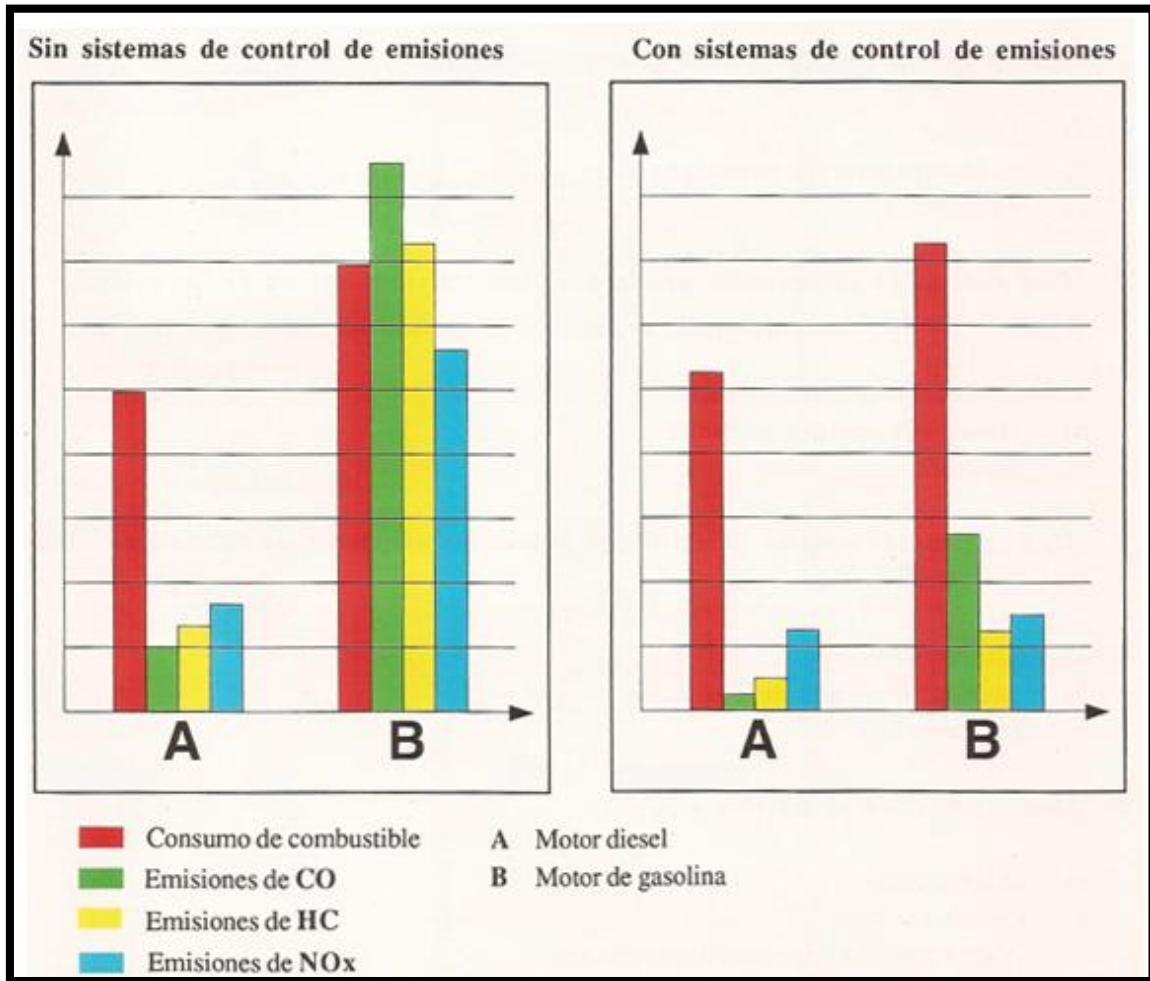


Figura 17. Comparativa entre emisiones de vehículo con sistema y sin sistema de control de las mismas

Se puede ver claramente que los motores con características de emisiones optimizadas tiene un ligero aumento de consumo (aprox. 5%). Considerables ventajas superan estas desventajas: con los sistemas de control de emisiones se producen drásticas reducciones de hasta el 80% de emisiones contaminantes tanto en los motores de gasolina como diesel.



3.1. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES EN MOTORES DE GASOLINA

Con objeto de optimizar la combustión y/o reducir las emisiones de CO, HC y NO_x, se han mejorado diversos componentes del motor en 4 áreas importantes y se han desarrollado sistemas adicionales de control.

3.1.1. FORMACIÓN DE LA MEZCLA Y DOSIFICACIÓN

3.1.1.1. Formación de la mezcla electrónicamente controlada

Este es un sistema controlado por ordenador, responsable de la dosificación del combustible. Además del vacío en el sistema de admisión. Se toman en consideración otras variables de control como la temperatura del motor o velocidad del motor para la dosificación del combustible.

Un factor importante es la composición de los gases de escape. En vehículos equipados con convertidor catalítico controlado, el valor del sensor de oxígeno se incluye en el cálculo de la cantidad de combustible.

3.1.1.2. Amortiguador de la mariposa

La tarea del amortiguador de la mariposa es garantizar una combustión controlada durante la fase de aceleración y reducir las emisiones de HC.

Determinados motores van equipados con un amortiguador de mariposa o un motor paso a paso o de control, con función de amortiguador de mariposa. Este amortiguador frena la placa de la mariposa según se va cerrando. Consecuentemente, se pueden conseguir valores de contaminación bajos, dado que se puede aspirar una mezcla relativamente pobre, preparada para la combustión y mantener un alto nivel de oxidación.

3.1.1.3. Corte de combustible en deceleración

Dado que no se demanda potencia al motor cuando éste funciona en deceleración, se puede ahorrar combustible en esta fase de funcionamiento, reduciendo tanto el consumo como las emisiones.

La función de corte de combustible en deceleración se activa únicamente cuando se cumplen simultáneamente tres condiciones.

- El motor se encuentra a temperatura de funcionamiento
- El motor funciona sin carga



- La velocidad del motor es superior a 2000 rpm.

Estas condiciones son evaluadas por medios electrónicos y después se activa el corte de combustible en deceleración.

El corte de combustible en deceleración se desactiva tan pronto como deja de cumplirse una de las dos primeras condiciones. La velocidad del motor puede caer por debajo de un valor especificado en la tercera condición antes de que se desactive la función de corte de combustible en deceleración. Esto se produce a una velocidad de motor de aprox. 1400 rpm.

Las condiciones de activación del corte de combustible en deceleración no son, por lo tanto, idénticas a las de su activación. Esta diferencia de características del momento en que la velocidad del motor está en aumento o disminución se conoce con el nombre de histéresis del corte de combustible.

3.1.2. ENCENDIDO Y COMBUSTIÓN

3.1.2.1. Encendido de características electrónicas

Este tipo de sistemas de encendido no tiene platinos y están controlados por ordenador. Consecuentemente, se produce una chispa de encendido continua, más limpia, que no se altera por el desgaste mecánico o las altas velocidades del motor. Los sistemas mecánicos de encendido se caracterizan por tolerancias de hasta 80° de ángulo del cigüeñal, mientras que un buen sistema electrónico tiene tolerancias por debajo de 10° de ángulo de cigüeñal. La unidad de control en su función de microproceso utiliza una serie de señales eléctricas como la velocidad de giro del motor, la carga y la temperatura. Cuando se alcanza el avance de encendido óptimo, el programa entonces considera las características de encendido, el rendimiento y el funcionamiento del motor.

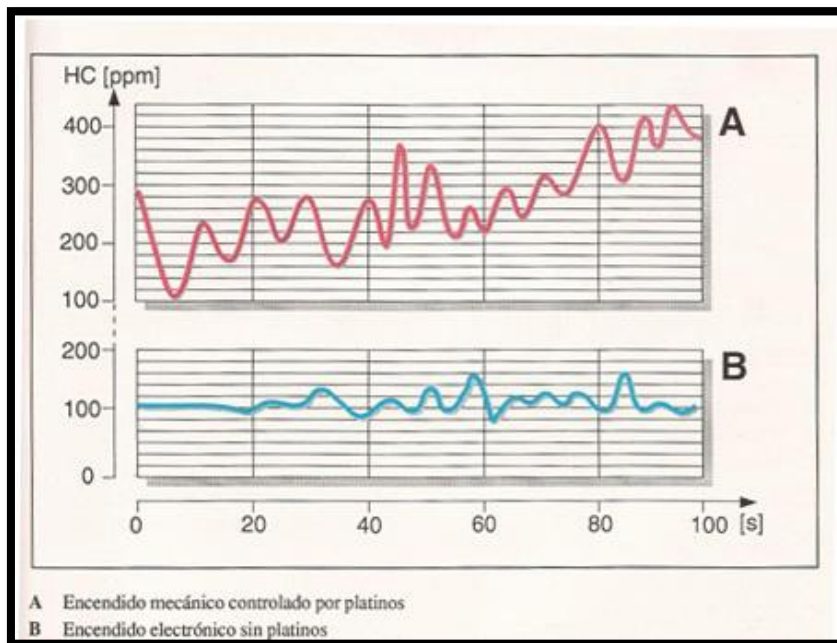


Figura 18. Emisiones de HC a ralenti

El resultado es una armonía ideal entre el encendido, el concepto de diseño y la correspondiente situación de funcionamiento del motor. La mezcla se inflama en la situación de avance de encendido más favorable, lo que constituye el requisito más importante para una combustión óptima.

3.1.2.2. Diseño de la cámara de combustión

Los hidrocarburos no quemados se producen cuando, durante la combustión, el frente de la llama se corta en las paredes de la cámara de combustión debido a una insuficiencia de oxígeno y a una temperatura demasiado baja. Las cámaras de combustión con una gran superficie en comparación con su volumen, o bien las cámaras de combustión con zonas de extinción delimitadas, favorecen la eficiencia en el consumo de combustible, pero la formación de hidrocarburos y/o óxidos de nitrógeno no quemados es excesivamente alta. La solución a ello es una turbulencia intensa de la mezcla en la cámara de combustión.

3.1.2.3. Relación de compresión

La alta compresión mejora el rendimiento térmico. Aún tratándose de un motor potente, el consumo de combustible y el monóxido de carbono e hidrocarburos es relativamente bajo. La alta temperatura de combustión y la alta presión aumentan la producción de óxidos de nitrógeno y el riesgo de auto-encendido durante la combustión.

3.1.2.4. Avance de válvulas

El reglaje de válvulas se determina individualmente para cada tipo de motor. Entre otras cosas depende de la aceleración y de la velocidad del motor. La sincronización de la distribución del motor tiene influencia sobre el par y sobre la curva de potencia del motor y por lo tanto también sobre sus características de emisiones.

El término cruce de válvula se refiere a la zona de la distribución en la que ya se ha abierto la válvula de admisión y la válvula de escape no está completamente cerrada. Esto ofrece ventajas a altas velocidades del motor.

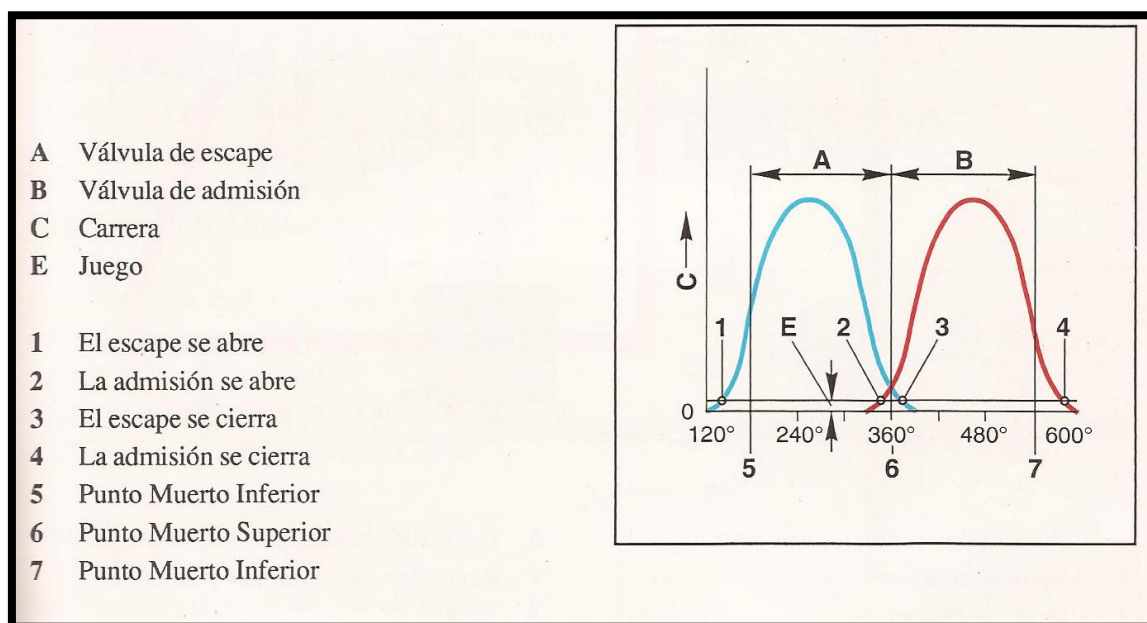


Figura 19. Ángulos de giro del cigüeñal característicos del funcionamiento de motores

Los ángulos de cruce de válvulas muy grandes pueden crear una recirculación interna de los gases de escape y por lo tanto reducir los óxidos de nitrógeno, por otra parte, perjudican a las características de ralentí y aumentan las emisiones tanto de hidrocarburos y monóxidos de carbono.

En consecuencia, muchos motores estándar se caracterizan por un cruce de válvulas pequeño o incluso por no poseer cruce.

3.1.2.5. Recirculación de los gases de escape (sistema EGR)

El sistema EGR recircula una cierta cantidad de los gases de escape al colector de admisión, retornándolos al ciclo de combustión, con objeto de reducir los óxidos de nitrógeno.

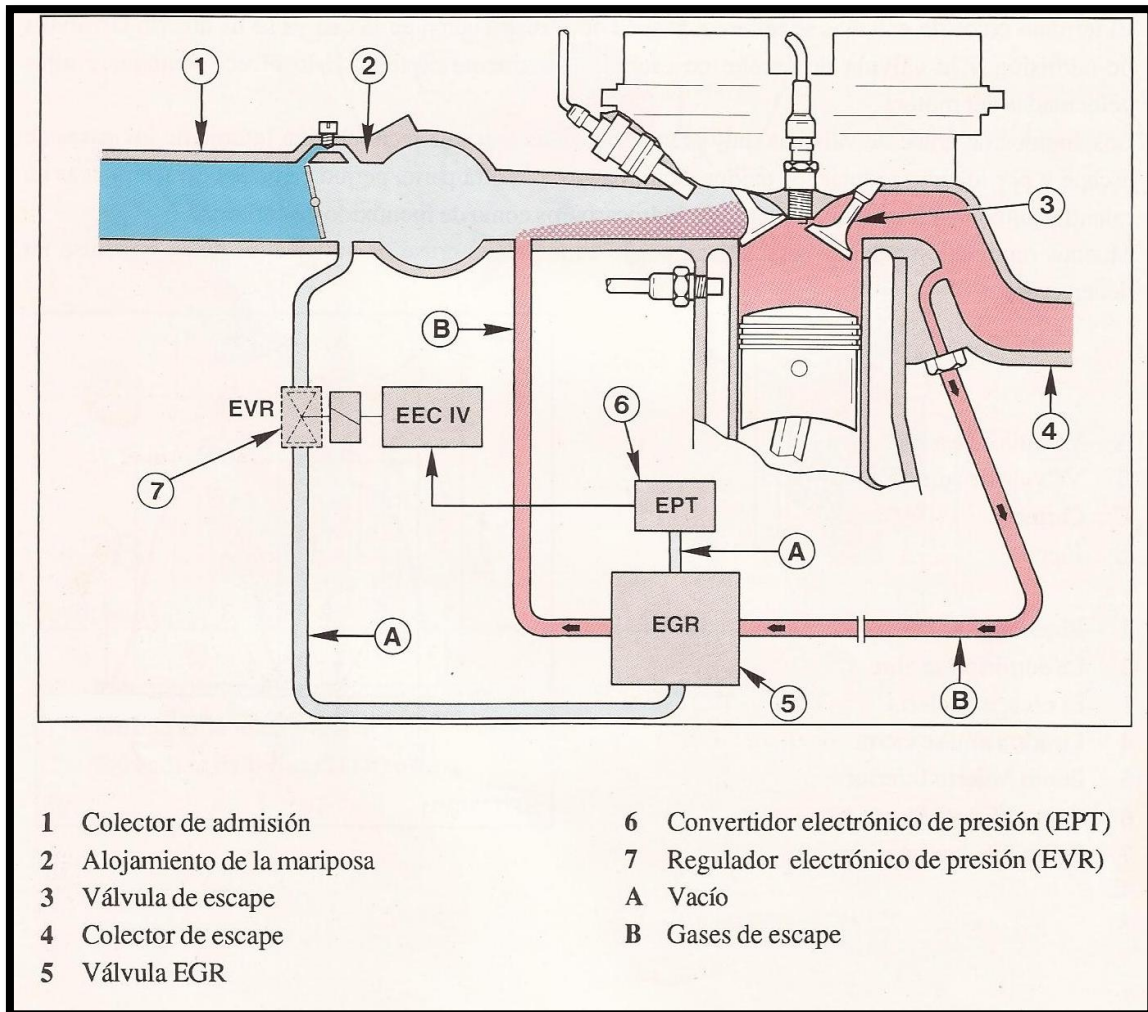


Figura 20. Sistema de recirculación de gases de escape

La adición dosificada de gases de escape a la mezcla de combustión, en determinadas condiciones de funcionamiento, reduce el nivel de oxígeno y también reduce la temperatura durante el proceso de combustión, sin aumentar significativamente las emisiones de HC y CO. La proporción de NO_x se puede reducir aproximadamente un 30% con este sistema.

En los momentos en que el motor está frío y en condiciones de carga total, el sistema EGR no se activa para evitar una conducción deficiente y una pérdida de potencia.

El sistema EGR lo conforman diferentes componentes en función del tipo de motor (gasolina o diesel) y su cilindrada.

El convertidor electrónico de presión (EPT) está conectado mediante un tubo a la válvula EGR. Mide la proporción de caudal de los gases de escape en el sistema de recirculación, detrás de la entrada de gases de escape, en la válvula EGR y envía la señal



correspondiente al módulo EEC IV. Con esta señal, entre otras, el módulo EEC IV controla la recirculación de gases de escape en el sistema de admisión.

El diafragma cerámico del convertidor de presión varía con los cambios de presión del sistema de recirculación de gases de escape. La variación de su capacitancia eléctrica es transformada por los circuitos electrónicos del convertidor en un voltaje de salida de entre 0 y 5 voltios.

El regulador electrónico de vacío (EVR) está conectado a través de unos tubos de vacío al alojamiento de la mariposa y a la válvula EGR. Está controlado por el módulo EEC IV y ajusta el vacío que se produce en la válvula EGR.

En el regulador de vacío están integrados un electro-imán y un disco de válvula oscilante. La señal de voltaje variable procedente del módulo EEC IV determina la posición del disco de válvula y, por lo tanto el vacío, en la válvula EGR. El regulador lleva un filtro intercambiable que debe renovarse con cierta periodicidad.

La válvula EGR controla el paso de gases de escape desde el sistema de escape al colector de admisión. El vacío (procedente del regulador de vacío) es aplicado al diafragma cargado por muelle de la válvula EGR. Cuando el vacío alcanza un determinado valor, el diafragma empuja el muelle y la válvula empieza a abrirse.

Cuando el motor se encuentra a temperatura de régimen y dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor, una cantidad exactamente dosificada de gases de escape, controlada por la válvula EGR, es aspirada a través de un tubo al alojamiento de la mariposa.

3.1.3. GASES DE ESCAPE PARA LA COMBUSTIÓN

3.1.3.1. Sistema de combustión secundario

La función de un sistema de combustión secundario es asegurar la post-combustión del carburante que no se ha quemado o se ha quemado parcialmente. Desde un punto de vista químico, la intención es optimizar un proceso de oxidación, en parte deficiente. Esta post-combustión se lleva a cabo en el sistema de escape mediante la adición de aire a los gases de escape no quemados o parcialmente quemados, pero sólo es posible cuando se dispone de temperaturas lo suficientemente altas.



Los gases de escape deben estar, por lo tanto, muy calientes. La finalidad de un proceso de combustión secundario es reducir los niveles de HC y CO en las emisiones de escape.

Se pueden usar sistemas diversos como el sistema de inyección de aire o el sistema de aire por impulsos. La diferencia entre ellos estriba en que en un caso el aire es inyectado mediante un dispositivo especial y en el otro el aire es aspirado por las fluctuaciones de presión del sistema de escape.

En general, los sistemas de inyección de aire o de aire por impulsos funcionan únicamente durante la fase de calentamiento. El tiempo que los sistemas están en funcionamiento es definido por el sistema de control del motor correspondiente en base a variables como la temperatura, la carga o la velocidad del motor.

3.1.3.2. Convertidor catalítico + sensor de oxígeno

Un catalizador es una sustancia que aumenta o disminuye el ritmo de una reacción química sin alterar los componentes de la reacción o su equilibrio químico. El catalizador participa en la reacción pero no se altera durante ni en al terminar la reacción. El efecto del catalizador sobre la reacción química se denomina catálisis. La catálisis positiva acelera las reacciones químicas normales; la catálisis negativa retarda la reacción.

La catálisis positiva de los gases de escape favorece la reacción de los tres contaminantes más importantes (HC, CO y NO_x) producidos en motores de gasolina. Es decir que convierte los compuestos contaminantes en elementos no perjudiciales antes de que salgan del sistema de escape. Los catalizadores adecuados para este fin son el platino, el rodio y el paladio.

3.1.3.3. Convertidor catalítico de tres vías (TWC)

Es un catalizador combinado con tres vías de conversión.

1. Reducción de NO_x a N_2 y O_2
2. Oxidación de CO a CO_2
3. Oxidación de HC a H_2O y CO_2

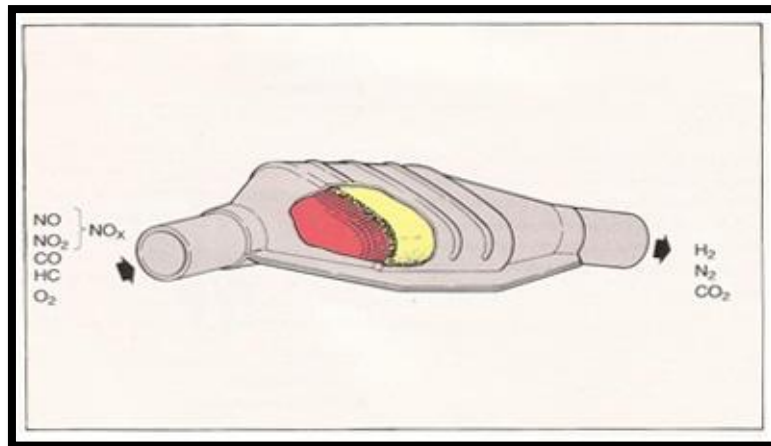


Figura 21. Esquema de conversión de contaminantes en catalizadores

Dependiendo de la versión, el cuerpo básico del convertidor catalítico es de cerámica o de material metálico, al que denominaremos monolito. A los monolitos cerámicos también se les llama ladrillos. El monolito consta de miles de pequeños conductos, a través de los cuales debe fluir el gas. El catalizador en sí mismo (platino, rodio o paladio) se encuentra situado en la superficie rugosa de los conductos. La superficie rugosa se denomina recubrimiento y es de óxido de aluminio (AlO_2).

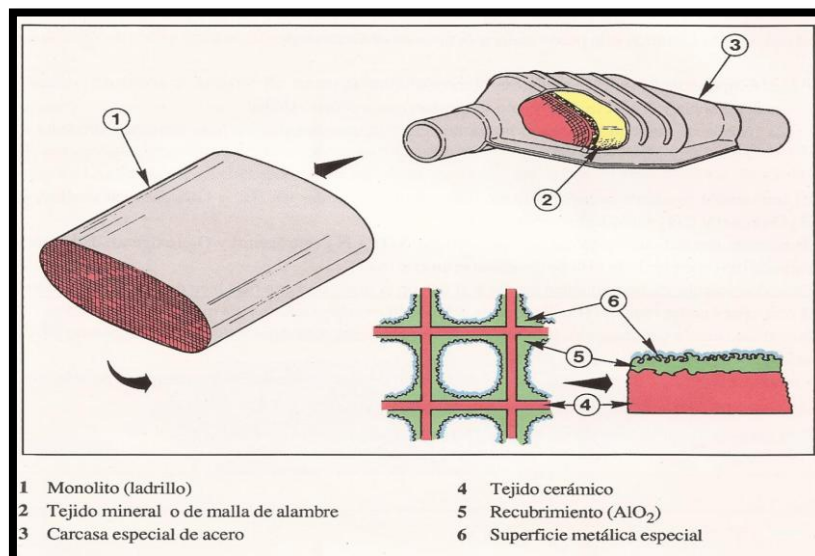


Figura 22. Componentes característicos de un catalizador



El área de superficie total es el resultado del factor de rugosidad de la superficie por las longitudes y anchos respectivos, multiplicando por el número de conductos. Esto da como resultado una zona de superficie teórica equivalente al tamaño de varios campos de fútbol. Dado que la precipitación de tetraetilo de plomo anula la eficacia de esta superficie de reacción, sólo se puede utilizar combustible sin plomo. El monolito se coloca junto con una capa intermedia flexible (fibra mineral o malla metálica) en una carcasa especial de acero.

El convertidor catalítico sólo puede realizar su tarea específica cuando:

- Su temperatura de funcionamiento es al menos de 300°C
- La deficiencia y el exceso de oxígeno se alternan en secuencia rápida
- La mezcla de aire combustible se mantiene dentro de una tolerancia muy estrecha alrededor de $\lambda=1$

El convertidor catalítico necesita oxígeno libre para poder oxidar los HC y CO para convertirlos en H₂O y CO₂.

Se necesita una deficiencia de oxígeno para reducir NO_x a N₂ y O₂ dado que la parte de oxígeno combinado debe desglosarse en este caso.

Estas dos reacciones no se pueden producir al mismo tiempo, sino que más bien deben sucederse una a la otra. Para poder reducir NO_x, la mezcla debe enriquecerse primero, para que se produzca CO. Inmediatamente a continuación la mezcla debe empobrecerse para dejar oxígeno libre dispuesto para la oxidación de CO y HC.

Ambos requisitos se cumplen cuando la mezcla varía dentro de unos límites estrechos de tolerancia alrededor de la relación de aire-combustible de valor $\lambda=1$, necesitándose un control especial de emisiones denominado control lambda.

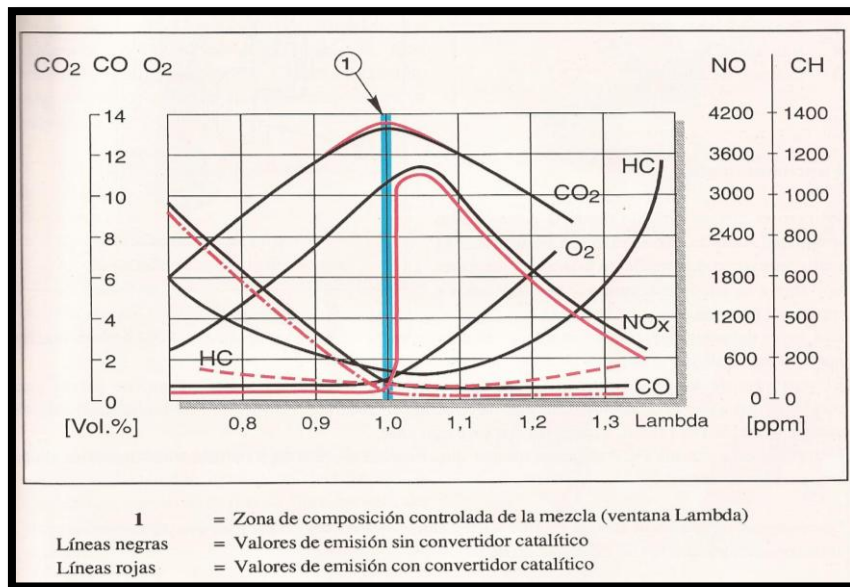


Figura 23. Emisiones a favor de la corriente y a contracorriente del convertidor catalítico

3.1.4. GASES DE ESCAPE DE EVAPORACIÓN

3.1.4.1. Ventilación interna del motor

3.1.4.1.1. Ventilación positiva del cárter

Sólo un sistema cerrado sin conexión directa con el aire atmosférico cumplirá los requisitos necesarios para una eficaz reducción de los niveles de emisiones.

Primero, el aire es dirigido desde la parte de aire limpio del filtro de aire a la tapa de balancines. Al existir un exceso de presión en esta zona, los gases no salen a la atmósfera, sino que son aspirados a través del filtro de aire.

Los gases del cárter son conducidos a través del separador de aceite y la válvula PCV (de ventilación positiva del cigüeñal) al colector de admisión.

El separador de aceite evita que el flujo de gases transporte gotas de aceite. Contiene placas para condensar los vapores de aceite, fluyendo el aceite al cárter. La válvula PCV controla el flujo de gases a velocidad de ralentí, a carga parcial y carga total.

3.1.4.1.2. Ventilación del depósito de combustible

Las condiciones externas de temperatura hacen que el combustible se evapore en el depósito. La cantidad de combustible en el depósito cambia constantemente debido a la



conducción y a la reposición del mismo. A la vista de ello, un sistema de ventilación debe garantizar la ecualización de presión en el depósito de combustible.

3.1.4.2. Sistema de control de las emisiones de evaporación

Este sistema está instalado en vehículos equipados con motor de inyección de combustible y convertidor catalítico de tres vías controlado.

Las emisiones de hidrocarburos procedentes del depósito de combustible son dirigidas a través de un sistema especial de tuberías al cánister de carbón. El carbón activo tiene la propiedad de combinar inmediatamente las sustancias tóxicas en forma de moléculas de hidrocarburos. A partir de este cánister de carbón, otro tubo lleva hasta el sistema de admisión del motor, dirigiéndose así los vapores de combustible al proceso de combustión.

Cuando paramos el motor los vapores son almacenados en el cánister de carbón. Cuando el motor está en funcionamiento, los vapores almacenados en el cánister de carbón son llevados al colector de admisión, a través de un paso calibrado.

3.2. SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES EN MOTORES DIESEL

El combustible diesel está constituido casi exclusivamente por hidrocarburos, además de contener pequeños porcentajes de azufre y acrilatos debido a los diferentes tipos de petróleo crudo y de aditivos sintéticos utilizados. El gasoil es escasamente volátil, es decir, no se produce evaporación a temperaturas exteriores normales y no se pueden formar gases explosivos.

En este tipo de motores la mezcla se forma en la cámara de combustión. El suministro de aire es definido por el sistema de admisión. Solamente varía la alimentación de combustible mediante la bomba de inyección. La alimentación se basa por tanto en un control cualitativo.

La combustión rápida y uniforme garantiza un consumo económico y una alta potencia específica. La emisión de CO, HC y hollín es baja pero se producen niveles relativamente altos de óxidos de nitrógeno.

Debido a su diseño, las condiciones de aire no se pueden controlar en el motor diesel como ocurre en los motores de gasolina.

El hollín se produce debido a una combustión incompleta, cuando no se mezcla de manera absolutamente uniforme con el aire de la cámara de combustión, de manera que siempre hay zonas en la cámara de combustión en donde se produce una deficiencia de aire. El hollín se produce siempre en zonas localizadas con Lambda desde 0.3 a 0.6 y temperaturas de 1127 a 1427°C.

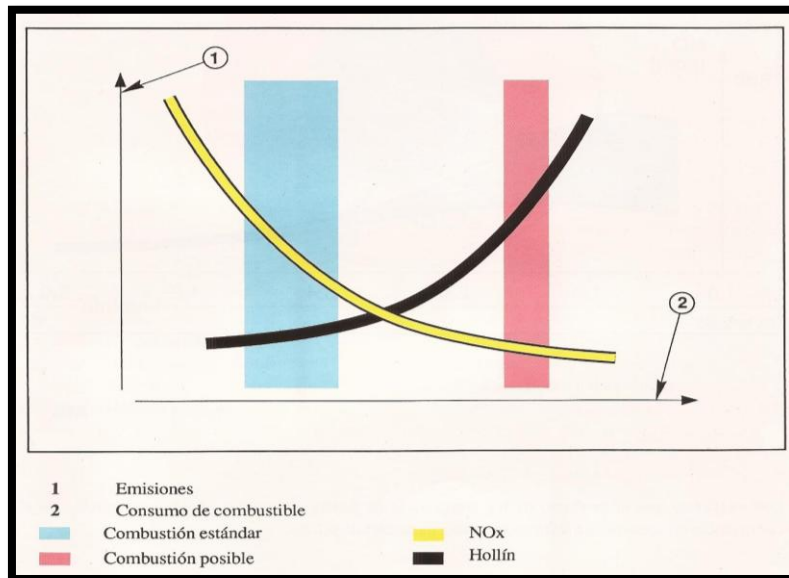


Figura 24. Combustión con distintos ajustes del motor

Los gases de escape producidos por el motor diesel constan aproximadamente de 1000 partes en concentraciones extremadamente diversas. Más del 99.5% de las emisiones son producidas por sustancias que, a primera vista, son relativamente inofensivas como el dióxido de carbono, vapor de agua o nitrógeno. Los contaminantes que forman el 0.35% restante incluyen benceno, aldehídos, hidrocarburos aromáticos y óxidos de nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno son producidos a niveles particularmente altos en ciertos intervalos de Lambda. Sin embargo, la utilización de combustible es muy eficaz en los mismos intervalos.

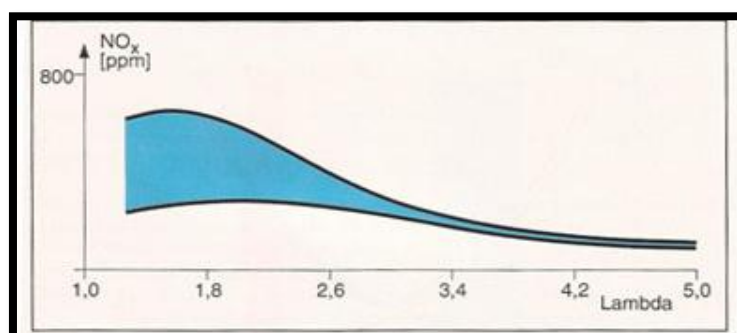


Figura 25. Emisiones del NO_x en función del valor Lambda en motores diesel

Los sulfatos son el producto de los componentes de azufre contenidos en el combustible. Si el combustible no contuviera azufre no existirían partículas de sulfato.

El hollín está formado por partículas sólidas. El término emisión de partículas se utiliza, por lo tanto, cuando nos referimos a las emisiones de hollín de los motores diesel. En su forma químicamente pura, el hollín es carbono inofensivo. Sin embargo, un alto porcentaje de los contaminantes ya mencionados se adhieren a las partículas de hollín en las emisiones de escape diesel.

El hollín está formado por partículas sólidas diminutas (0.05 – 150 micras). La pequeñez de su tamaño es lo que las hace dañinas, tanto para personas como para animales. En tamaños de aprox. 0.7 y 8 micras pueden penetrar en los pulmones y permanecer allí.

Las partículas mayores de 8 micras no alcanzan los pulmones en principio, dado que son captadas en la zona del filtro del tracto respiratorio.

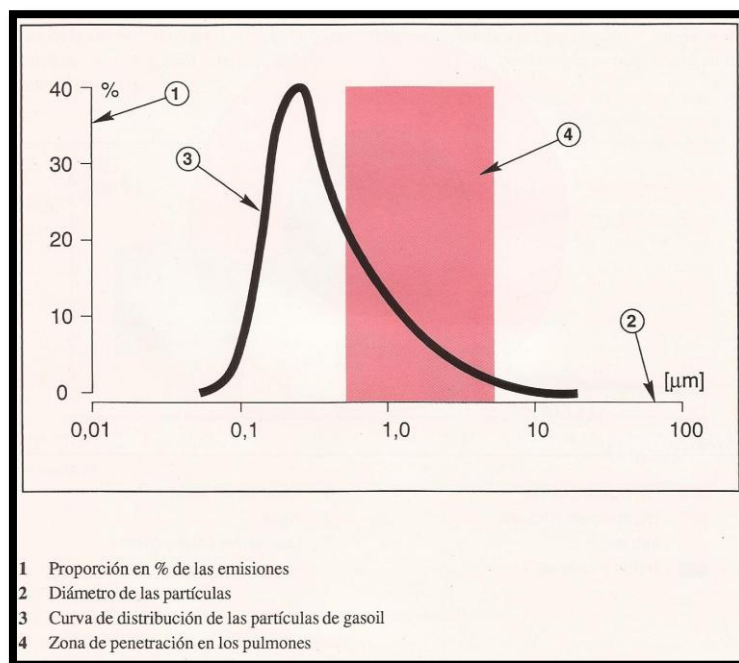


Figura 26. Comparativa entre tamaños, porcentajes y penetración en los pulmones de las partículas de hollín

Con objeto de optimizar las emisiones y/o reducir las emisiones de CO, HC y NO_x y hollín, se han optimizado los componentes del motor en 4 áreas importantes y se han desarrollado unos sistemas de control adicionales.



3.2.1. FORMACIÓN DE LA MEZCLA Y DOSIFICACIÓN

3.2.1.1. Sistema de inyección

La sincronización de la inyección y la presión tiene una influencia decisiva sobre las emisiones.

La proporción de emisiones de NO_x se reduce pero aumenta los valores de HC y CO al retrasar la sincronización (el avance) de inyección de combustible. La producción de hollín y el consumo específico aumentan también. Las partículas de hidrocarburos se producen a un ritmo más rápido debido a la combustión incompleta del combustible y a los rastros de aceite lubricante en la mezcla de combustión, siendo necesario conseguir un equilibrio ideal.

Cuanto más alta es la presión de inyección, mejor se mezclan el aire y el combustible, facilitando así una combustión mejorada. Por esta razón, se prefieren presiones muy altas de funcionamiento en los sistemas de inyección.

También es posible que quede combustible residual en los rebajes de las toberas de inyección al terminar la inyección. Durante la fase de expansión, el combustible alcanza la cámara de combustión y ya no se quema. Esto se evita en gran medida con un diseño adecuado de las toberas de los inyectores.

3.2.1.2. Turbocompresor

La tarea principal del turbocompresor es aumentar la potencia del motor. Sin embargo, también afecta a las características de las emisiones.

Se alimenta aire adicional al proceso de combustión como resultado de la turbocompresión. Los valores de Lambda se desplazan hacia el empobrecimiento, provocando como resultado una reducción de las emisiones de CO, HC y hollín. También aumenta la eficacia, ahorrando así combustible. Las emisiones en su totalidad se reducen disminuyendo el consumo de combustible.

Las emisiones de NO_x pueden aumentar las condiciones desfavorables. Este efecto negativo se puede contrarrestar eficazmente controlando la recirculación de los gases de escape de manera que un motor diesel con turbocompresor equipado también con recirculación de gases de escape ofrece muchas ventajas en las siguientes áreas:



- Potencia del motor
- Consumo de combustible
- Características de emisiones de escape

3.2.2. COMBUSTIÓN

3.2.2.1. Diseño de la cámara de combustión

Los siguientes criterios son decisivos para el diseño de la cámara de combustión:

Durante el proceso de inyección y combustible, se forman zonas de mezcla extremadamente rica en el núcleo del chorro de inyección y zonas de mezcla extremadamente pobre fuera de la zona de pulverización. Esto se puede compensar en cierta medida mediante un diseño adecuado de la precámara y cámara principal de combustión.

Dado que las paredes de la cámara de combustión son considerablemente frías en comparación con los gases de combustión, la llama se extingue muy rápidamente cuando se acerca a las paredes. Si el combustible en forma líquida se pone en contacto con las paredes, se evapora muy lentamente dependiendo de las temperaturas de las paredes y el gas. Esta situación se puede contrarrestar mediante una ingeniosa disposición de los inyectores.

3.2.2.2. Relación de compresión

Al igual que ocurre con los motores de gasolina, la alta compresión tiene como resultado una mejora de la eficacia térmica. Debido a este principio de funcionamiento, no hay límite de autoencendido en el motor diesel cuando se aumenta la relación de compresión; sin embargo, la creciente carga mecánica establece ciertos límites. También tiene un efecto positivo en la potencia del motor, el consumo de combustible y la producción de monóxido de carbono y los hidrocarburos.

3.2.2.3. Sincronización de válvulas

Al igual que en el motor de gasolina, el reglaje de válvulas se determina individualmente para cada tipo de motor. Entre otras cosas, depende del ritmo de flujo de gas y de la velocidad del motor. Tiene influencia sobre el par motor y la curva de potencia del motor y por lo tanto también en sus características de emisión.

3.2.2.4. Recirculación de los gases de escape (sistema EGR)

Este sistema reduce la emisión de óxidos de nitrógeno mediante la recirculación dosificada de los gases de escape en el proceso de combustión de acuerdo con el mismo

principio que se utiliza en el motor de gasolina. El diseño y el funcionamiento divergen en algunos aspectos.

Cuando el motor funciona a temperatura de régimen en el intervalo de carga parcial, hasta un 30% de los gases de escape procedentes del colector de escape se mezclan a través de la válvula EGR con el aire primario aspirado por el colector de emisión. A carga total los gases de escape no se recirculan debido a razones de potencia y comportamiento de motor. El módulo EGR controla este procedimiento. Una ventaja de este sistema es la suavidad del funcionamiento del motor.

3.2.3. GASES DE ESCAPE PROCEDENTES DE LA COMBUSTIÓN

3.2.3.1. Convertidor catalítico de oxidación

Este componente es muy similar al convertidor catalítico descrito en el apartado del motor de gasolina. El funcionamiento, sin embargo, no es idéntico.

Los óxidos de nitrógeno no se reducen dado que la proporción de aire no se puede controlar de forma correspondiente. La superficie que actúa como catalizador es de platino.

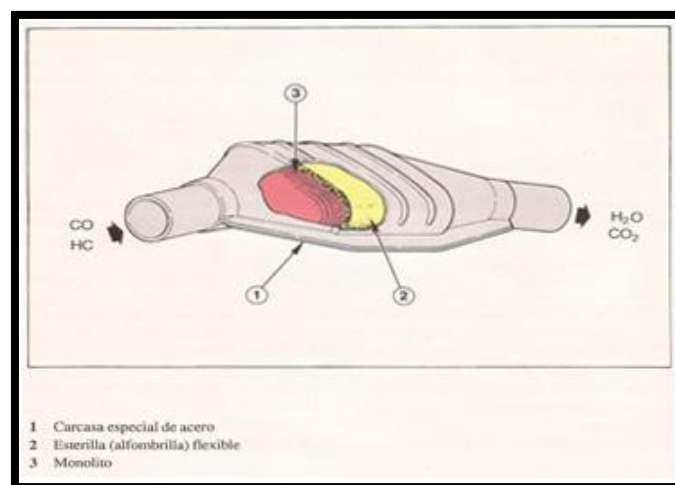


Figura 27. Estructura de un convertidor catalítico de oxidación

El convertidor catalítico reduce la emisión de HC y CO por oxidación a H₂O y CO₂. En menor medida, la emisión de partículas se reduce mediante la descomposición y conversión de los contaminantes adheridos a las partículas de hollín. Los procesos de reducción en el convertidor catalítico no son posibles dado que la mezcla de combustible-aire en el motor diesel se quema con un exceso importante de aire. Puede ocurrir por lo tanto que los óxidos de nitrógeno no se conviertan. Esto también hace que el sistema de control Lambda no sea necesario, basándose el convertidor catalítico en un sistema no controlado.

Por medios indirectos, sin embargo, el convertidor catalítico puede conseguir también una reducción de los óxidos de nitrógeno producidos por el motor diesel. Dado que los hidrocarburos son convertidos en gran parte en el convertidor catalítico de oxidación, la inyección de combustible se puede ajustar para que favorezca la reducción óptima de NO_x .

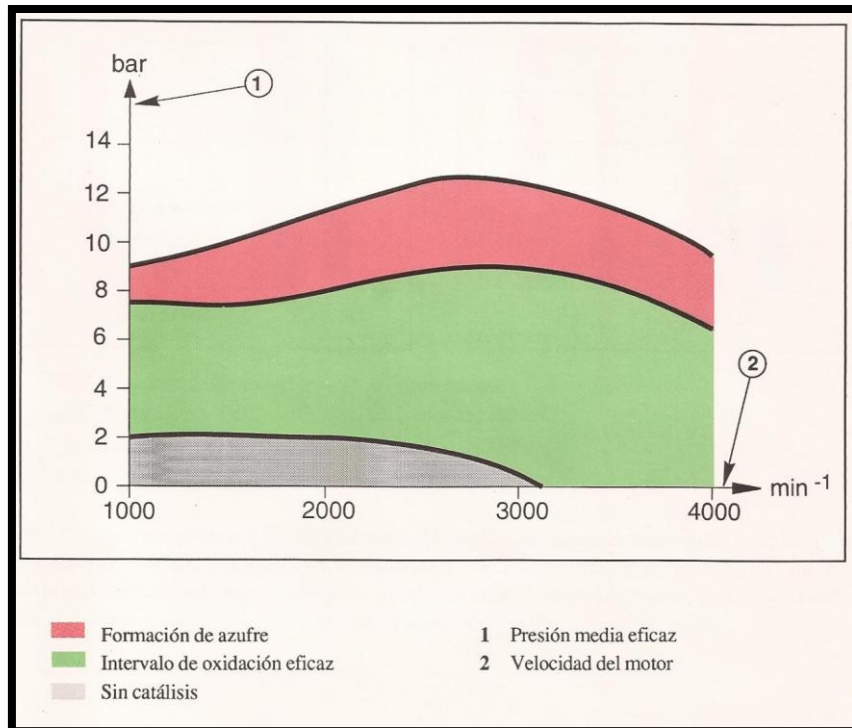


Figura 28. Relación de presión y formación de óxidos de azufre en la combustión

3.2.4. GASES DE ESCAPE PROCEDENTES DE LA EVAPORACIÓN Y LA VAPORIZACIÓN

3.2.4.1. Ventilación positiva del cárter

En principio, este dispositivo corresponde a los sistemas utilizados en el motor de gasolina. La proporción de gases de recirculados de las cámaras de combustión es más alta en el motor diesel debido a la alta compresión.

3.2.4.2. Ventilación del depósito de combustible

El sistema de ventilación se necesita para la recirculación de presión en el depósito. Un sistema de control de emisiones de evaporación no es necesario aquí dado que el combustible diesel no se evapora en grandes cantidades en condiciones de funcionamiento normal.

Capítulo 4

SENSOR DE OXÍGENO. SONDA LAMBDA

El sensor de oxígeno es un generador de voltaje que suministra corriente continua de hasta 1 voltio. La definición científica de este componente es una célula galvánica de oxígeno con electrolitos sólidos.

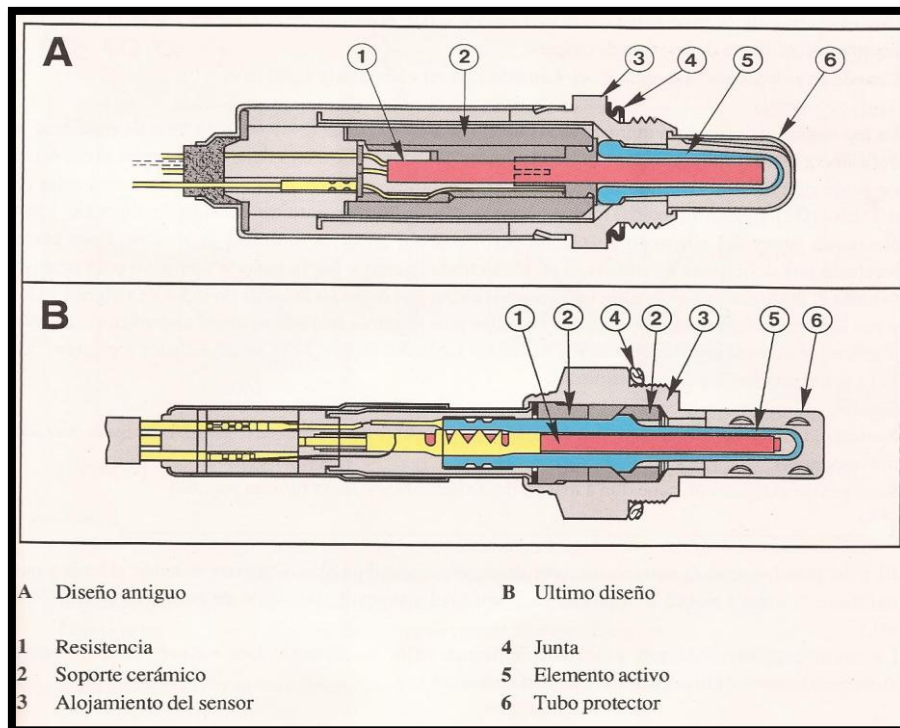


Figura 29. Esquema de componentes de sonda lambda



El elemento activo debe haber alcanzado una temperatura de funcionamiento superior a 300°C y debe haber una diferencia mayor que el 18% en volumen entre el electrodo externo y el electrodo interno.

A través del alojamiento del sensor el oxígeno ambiente (aprox. 21% en vol.) alimenta constantemente al electrodo interno. El oxígeno residual pasa a través del electrodo externo, el cual se proyecta al flujo de gases de escape. Su porcentaje en volumen es de entre 0.2-0.3% ($\lambda=0.95$) y 2-3% ($\lambda=1.05$).

Con un índice de mezcla de gases de combustión de $\lambda=1$, el sensor de oxígeno genera un voltaje eléctrico de 450 mV. Esto significa un exceso de aire de entre un 1% y un 1.5%.

Cuando la mezcla se hace más rica, por ejemplo $\lambda=0.9$, el voltaje de este sensor aumenta a 800 mV como resultado de la deficiencia de oxígeno. Cuando se empobrece la mezcla, por ejemplo $\lambda=1.05$, el voltaje baja a 200 mV.

La ley natural de equilibrio químico dice que el oxígeno ambiente (21% en vol.) trata de equilibrar la deficiencia de oxígeno (0.2-3% en vol.) en los gases de escape. Para ello tiene que penetrar el elemento activo. Cuando la temperatura es lo suficientemente alta las moléculas de oxígeno son enriquecidas con electrones libres del elemento activo y los electrones libres del electrodo del material catalizador, como platino, permeables al gas y se ionizan. Esto produce como resultado una deficiencia de electrones en el electrodo interno y por lo tanto se forma un polo positivo. En el electrodo externo existe un exceso de electrones debido a la salida de iones de oxígeno y por lo tanto se forma un polo negativo.

Este polo negativo está conectado al alojamiento mientras que el polo positivo está conectado a través de un electrodo de platinos internos al cable eléctrico que transfiere la señal Lambda a la unidad de control del sistema de inyección de combustible.

La propagación adecuada de la llama en la combustión solamente es posible cuando la riqueza de mezcla es correcta. La proporción aire-combustible necesaria teóricamente es de 14,7:1, es decir, que por cada parte de gasolina en peso se requieren 14,7 partes de aire para lograr una correcta combustión con el mínimo de contaminantes, lo que viene a significar que cada litro de gasolina necesita para su combustión completa 10000 litros de aire. Esta relación en peso de aire y combustible se denomina relación estequiométrica y representa la relación ideal para que se realice una combustión completa. Si la cantidad de aire resulta excesiva o insuficiente, la mezcla resulta pobre o rica, respectivamente.



Se llama riqueza a la relación existente entre el dosificado real y el correspondiente a la relación estequiométrica, determinándose la riqueza por un coeficiente llamado lambda (λ), también conocido como coeficiente de exceso de aire.

Con mezclas pobres se obtienen combustiones lentas, lo que supone que el motor se calienta en exceso y no desarrolla toda su potencia. Al realizarse lentamente la combustión puede ocurrir que cuando el pistón llega al punto muerto inferior y se abre la válvula de escape, continúe quemándose la mezcla, con lo que los gases salen ardiendo todavía y la válvula alcanza una elevada temperatura que la deteriora rápidamente. Con mezclas ricas se obtienen explosiones más potentes y combustiones rápidas en exceso, que pueden ocasionar el fenómeno de la detonación.

En los motores de gasolina, la relación de la mezcla puede variar entre 12 y 18:1 ($\lambda=0,8$ y $\lambda=1,2$), según las condiciones de funcionamiento del motor. Con valores de $\lambda=0,8$ se consigue un dosificado llamado de potencia máxima y con las relaciones de mezcla asociadas a $\lambda=1,2$ se logra el dosificado denominado de máximo rendimiento. En la figura 30 puede verse que la concentración de CO crece con el valor de riqueza de mezcla de una manera sensiblemente lineal a partir de un valor de 1 riqueza. Con mezclas pobres el porcentaje de CO se mantiene por debajo del 0,5%. Los valores mínimos del monóxido de carbono se consiguen con coeficientes de aire superiores a 1,1.

En la actualidad se entiende que la riqueza de la mezcla sea muy próxima a $\lambda=1$, pues es la más favorable para la emisión de sustancias nocivas. Una proporción excesiva de CO es siempre indicio de que el sistema de alimentación de combustible es defectuoso, aportando mezcla rica en exceso.

Las concentraciones más bajas de hidrocarburos HC se obtienen con mezclas de riqueza comprendida entre 1 y 1,2. A partir de estos valores, en los dos sentidos, la concentración aumenta rápidamente. Igual que para el contenido de CO, la proporción de hidrocarburos aumenta a causa de una combustión incompleta por enriquecimiento o empobrecimiento de la mezcla. El estado del desgaste del motor y su sistema de encendido influyen notablemente en las emisiones de HC.

La concentración de óxidos de nitrógeno es totalmente contraria a la de hidrocarburos y alcanza su valor máximo para una riqueza de 1,1. Esta concentración baja rápidamente en cuanto nos alejamos de este valor de riqueza, tanto hacia mezcla rica como pobre. El aumento del avance del encendido da lugar a un incremento de los óxidos de nitrógeno.

El dióxido de carbono es máximo en el entorno $\lambda=1$, y puede tomarse como referencia de una combustión más o menos completa, siendo su valor del orden del 12% en volumen para una combustión ideal. En estas condiciones, las proporciones de CO y HC son mínimas.

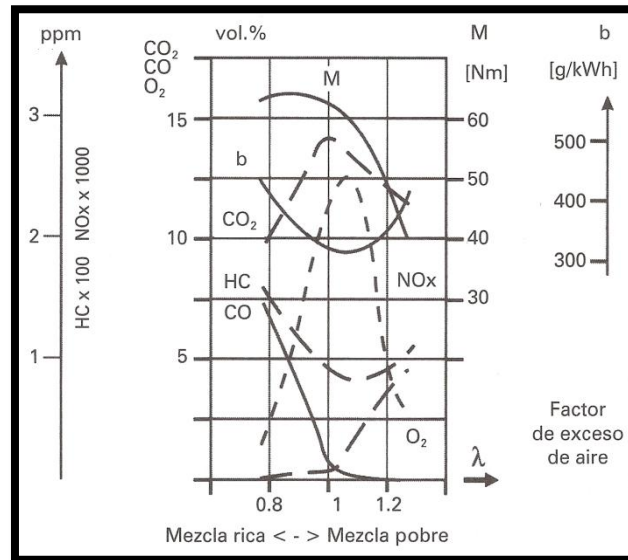


Figura 30. Formación de productos de la combustión en función del factor Lambda

La concentración de O_2 crece rápidamente desde un valor 1 hacia mezcla pobre. Cuando hay exceso de aire en la mezcla, aparece oxígeno O_2 en los gases de escape, aumentando la proporción rápidamente al sobrepasar un valor de riqueza de $\lambda=1$. Junto con el máximo de dióxido de carbono, el contenido en oxígeno es indicio de mezcla pobre.

De lo detallado hasta aquí se deduce que no existe un coeficiente de aire λ ideal con el que todos los factores presenten el valor más favorable, por lo que en un motor debe buscarse un compromiso, de manera que la emisión de estos gases contaminantes sea mínima, al tiempo que se consigue un correcto funcionamiento del motor, que se logra con valores de riqueza λ comprendidos entre 0,95 y 1,05, donde la curva del par motor toma su valor máximo y la de consumo específico el mínimo.

Las denominadas normas Euro fijan los valores límite de las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos. En la fiscalidad de un vehículo, las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque el tipo impositivo depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro. El código indicado en el permiso de circulación ofrece información sobre el nivel de emisión de contaminantes del vehículo.

Las disposiciones legislativas son cada vez más exigentes: el Parlamento Europeo ha decidido fijar otra vez nuevos valores límite para la emisión de contaminantes de los turismos.



Euro 5 entró en vigor el 1 de septiembre de 2009. Al mismo tiempo, la UE ha fijado ya los valores de la norma Euro 6 (a partir de 2014) para la industria del automóvil.

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor de gasolina						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* con inyección directa

Figura 31. Tabla comparativa de los valores de emisión para motores de gasolina según las diferentes normas Euro

En España, el ministerio de Industria, Turismo y Comercio rige los procedimientos de inspección de las estaciones ITV a través del manual establecido al efecto. En dicho manual podemos encontrar los siguientes aspectos en lo referente a emisiones contaminantes en vehículos de gasolina:

ESPECIFICACIONES GENERALES

El procedimiento de inspección se aplicará a los vehículos equipados con motor de encendido por chispa cuyas emisiones estén o no reguladas por un sistema avanzado de control de emisiones (catalizador controlado por sonda lambda, por ejemplo).

MÉTODO

b.1) Vehículos cuyas emisiones no estén reguladas por un sistema avanzado de control de emisiones.

-Inspección visual del tubo de escape para comprobar que no existen perforaciones que puedan desvirtuar la medida de emisión de contaminantes.

-Después de un periodo razonable de calentamiento (que tenga en cuenta las prescripciones del fabricante del vehículo) se medirá el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases de escape con el motor al ralentí (en vacío).

-El contenido máximo autorizado de CO en los gases de escape será el declarado por el fabricante del vehículo. Cuando no se disponga de este dato, el contenido de los gases de escape no debe superar los límites siguientes:



-para los vehículos matriculados hasta el 1 de Octubre de 1986: CO-4.5% vol

-para los vehículos matriculados después de 1 de Octubre de 1986: CO-3.5% vol

b.2) Vehículos cuyas emisiones estén reguladas por un sistema avanzado de control de emisiones.

-En los ensayos que se realicen se utilizará el combustible comercial que lleve el vehículo.

-Se realizará una inspección visual del tubo de escape para comprobar que no existen perforaciones que puedan desvirtuar la medida de emisión de contaminantes.

-Se realizará una inspección visual para comprobar que el nivel de aceite del motor se encuentra entre los valores mínimo y máximo indicados en la varilla.

-Si el vehículo está provisto de escape con salidas múltiples se procederá a hacer la prueba en cada una de las salidas, no debiéndose superar el valor máximo en ninguna de ellas.

-La presión del aceite con el motor en marcha será la correcta, de acuerdo con el indicador instalado en el vehículo cuando este exista.

-Para los vehículos con caja de cambios de velocidades con mando manual o semiautomático el ensayo se realizará con la palanca en punto muerto y el motor embragado. Para los vehículos con caja de velocidades automática el ensayo se realizará con el selector en la posición N o P.

Condiciones de medida

-El motor deberá estar caliente, por ejemplo, la temperatura del aceite del motor medida mediante sonda introducida en la boquilla de la varilla de nivel de aceite debe ser como mínimo de 60°C, o a la temperatura normal de funcionamiento si es inferior, o la temperatura del cárter del motor medida por el nivel de radiación infrarroja debe ser como mínimo equivalente. Si debido a la configuración del vehículo, tal medición es impracticable, la temperatura normal de funcionamiento del motor podrá ser determinada por otros medios, por ejemplo mediante el funcionamiento del ventilador del motor.



-Antes de comenzar las mediciones se mantendrá el motor a un régimen de 2500 a 3000 rpm durante un minuto aproximadamente a los efectos de conseguir una temperatura óptima del catalizador.

Procedimiento de ensayo

-La sonda de toma de muestras de gases se introducirá todo lo posible en el tubo de escape ya sea en el propio tubo o en el colector acoplado al primero.

-Se determina la eficacia del dispositivo de control de emisiones midiendo el valor de lambda y el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases de escape.

-Emisiones del tubo de escape

La medición del contenido de CO y del valor del coeficiente Lambda (λ) se realizará mediante el método de ralentí y ralentí acelerado.

Medición con el motor al ralentí

La caja de cambios estará en punto muerto y el motor embragado girando en régimen de ralentí. Esta posición se mantiene hasta que el valor de la medida se estabilice.

Medición al ralentí acelerado

Con la caja de cambios en punto muerto y el motor embragado se acciona el acelerador hasta obtener un régimen estabilizado del motor según las prescripciones del fabricante o, en su defecto, superior a 2000 rpm al menos durante 30 segundos. La medición se realizará inmediatamente después, manteniendo al posición hasta que el valor de la medición se estabilice.

En ambas mediciones se anotarán el valor de CO y el valor del coeficiente λ en la prueba de ralentí acelerado.

Valores límite

-Medición con el motor al ralentí: El contenido máximo autorizado de CO en los gases de escape será el declarado por el fabricante del vehículo. Cuando no se disponga de este dato no se superará el límite de 0.5% en volumen de CO.



-Medición con el motor al ralentí acelerado: El contenido máximo autorizado de CO en los gases de escape será el declarado por el fabricante del vehículo. Cuando no se disponga de este dato no se superará el límite de 0.3% en volumen de CO.

-Valor del coeficiente Lambda (λ): el valor límite de este coeficiente, medido de acuerdo con la fórmula de Brettschneider, debe estar de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Si este valor no se conoce, el valor deberá estar comprendido en el intervalo: $\lambda=1\pm0.003$.

-En caso de que no se cumpla alguna de las condiciones anteriores, se realizará otra segunda serie de medidas. Si el vehículo no cumple será rechazado.

Como podemos observar, la medición del valor del coeficiente λ se realiza a través de la expresión establecida por Johannes Brettschneider en la que el balance entre oxígeno y combustible se mide gracias a la comparación de la proporción entre las moléculas de oxígeno y las de carbono e hidrógeno en los gases de escape. Dicha ecuación adquiere la forma:

$$\lambda = \frac{[\text{CO}_2] + \left[\frac{\text{CO}}{2}\right] + [\text{O}_2] + \left[\frac{\text{NO}}{2}\right] + \left(\left(\frac{\text{H}_{\text{CV}}}{4} \times \frac{3.5}{3.5 + \left[\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}\right]} \right) - \frac{\text{O}_{\text{CV}}}{2} \right) \times ([\text{CO}_2] + [\text{CO}])}{\left(1 + \frac{\text{H}_{\text{CV}}}{4} - \frac{\text{O}_{\text{CV}}}{2} \right) \times ([\text{CO}_2] + [\text{CO}]) + (\text{C}_{\text{factor}} \times [\text{HC]})}$$

Dicha expresión nos proporciona el valor del parámetro lambda comparando todo el oxígeno en el numerador y todas las fuentes de carbono e hidrógeno en el denominador (la concentración de agua es determinado como una fracción de la suma de CO y CO₂ mientras que la proporción entre CO y CO₂ es representada por el termino '3.5' en el numerador).

Aparecen diferentes términos como puede ser la concentración de cada uno de los gases en tanto por ciento en volumen, [XX], el número de átomos de carbono en cada una de las moléculas de hidrocarburos, C_{factor}, la proporción de átomos entre hidrógeno y carbono en la gasolina, H_{CV}, o entre el oxígeno y el carbono, O_{CV}.

La regulación del factor lambda permite mantener la relación aire-combustible en el valor más adecuado y con la precisión que requieren los actuales motores de combustión.

Consiste en disponer de una sonda en la salida de los gases del motor, capaz de medir el contenido de oxígeno de los gases de escape antes de su tratamiento en el catalizador, con lo cual se determina la riqueza de la mezcla. En función de ello, la sonda genera una señal eléctrica que es enviada a la unidad de control electrónico capaz de modificar el dosado de la mezcla en el sistema de alimentación, adaptándolo a las necesidades del motor. En la figura 32 se muestra el esquema de un sistema de regulación de riqueza por sonda lambda y la ubicación de ésta en el tubo de escape, en la entrada de gases al catalizador. Este lugar de emplazamiento, próximo al colector de escape, es imperativo dado que la sonda requiere una elevada temperatura para realizar su función. En algunos casos la sonda se coloca en una posición intermedia a lo largo del catalizador (entre las dos secciones del monolito).

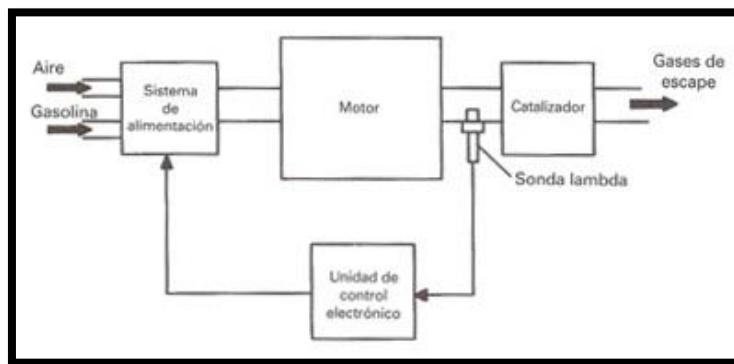


Figura 32. Esquema de disposición de sonda lambda en automóviles

La sonda lambda es un sensor de medida del contenido de oxígeno de los gases de escape, que permite determinar con gran exactitud si la combustión de la mezcla es completa, circunstancia ésta que constituye el punto de partida ideal para las funciones de regulación de la proporción aire-combustible suministrada al motor. De esta manera, adecuando la riqueza de la mezcla al valor conveniente, se consiguen combustiones completas con las que se obtienen los mínimos contenidos de gases tóxicos.

La figura 33 muestra la estructura de una sonda lambda, también llamada sonda de oxígeno, cuyo soporte metálico 3 se monta roscado en el tubo de escape, de manera que la sonda 2 con su casquillo de protección 1, quede sumergida en la corriente de gases de escape 9, que a su paso lamen la parte externa de la sonda, que constituye uno de los electrodos (expuesto a la corriente de gases), mientras que la parte interna de la misma forma el otro electrodo, que está en contacto por el cuerpo interior con el aire ambiente a través del orificio 7 de aireación. Los dos electrodos así formados se unen eléctricamente al conector 8, de donde se toma la señal generada para transmitirla al módulo electrónico de mando. El casquillo de contacto 4 con su muelle 6 y casquillo de protección 5 completan el conjunto.

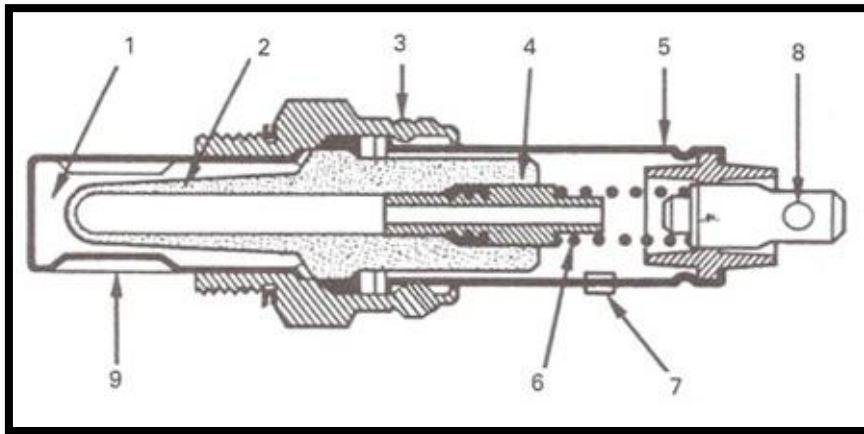


Figura 33. Componentes característicos de una sonda lambda

El cuerpo de cerámica 1 (figura 34) que forma la sonda, está constituido fundamentalmente de dióxido de circonio y sus superficies internas y externas están cubiertas con una capa microporosa de platino 2, que por un lado influye decisivamente sobre la característica de la sonda debido a su efecto catalítico y por otro sirve para la toma de contacto. En el lado de los gases de escape del cuerpo cerámico de la sonda, por encima de la capa de platino, se dispone una capa cerámica 6 altamente porosa y firmemente adherida, que impide la erosión de la capa de platino por parte de los residuos presentes en los gases de escape. Ambas capas de platino (la interna y la externa) se unen a los conectores 3 y 4 de los que se toma la señal eléctrica. La sonda queda ubicada en el colector de escape 4, posicionada convenientemente en la corriente de los gases de escape.

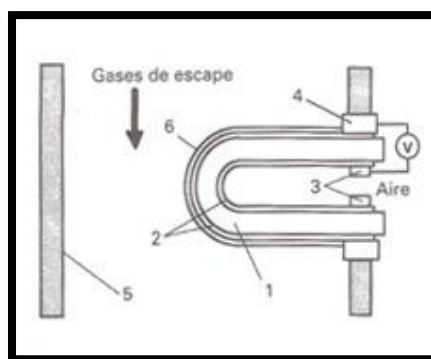


Figura 34. Disposición de la sonda lambda en el tubo de escape

Por encima de los 300°C, el material cerámico adquiere ciertas características que le permiten transportar iones de oxígeno desde la superficie en contacto con el aire ambiente hasta la opuesta, generándose una diferencia de potencial eléctrico entre ambos electrodos, que es función de los gases de escape y varía de 100 a 1000 mV, correspondiendo los valores

más altos a mezclas ricas ($\lambda < 1$), mientras que para mezclas pobres la tensión eléctrica de la sonda toma valores inferiores, tal y como muestra la gráfica de la figura 35.

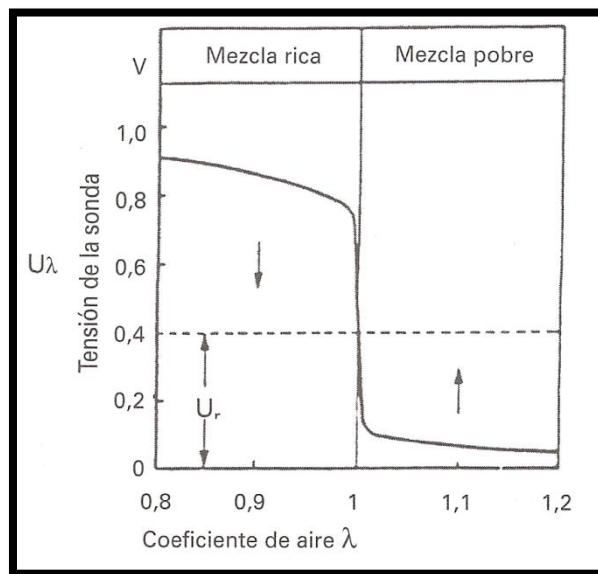


Figura 35. Correlación entre voltaje de salida y valor del coeficiente Lambda

Constituida así la sonda, cada uno de los electrodos se encuentra en contacto con un medio diferente (los gases de escape por un lado y el aire ambiente por otro), con lo cual, si el contenido de oxígeno de ambos lados en contacto con la superficie límite de los electrodos difiere, aparece una tensión eléctrica entre ellos. Como la tasa de oxígeno de los gases de escape es función de la riqueza de la mezcla, la sonda es capaz de detectar y medir esta riqueza, enviando la señal conveniente al módulo electrónico de control para que sea corregida y adecuada a las necesidades de la marcha. El ajuste continuo y casi instantáneo de la mezcla al valor $\lambda=1$ es condición indispensable para que el catalizador conectado a continuación pueda tratar los elementos contaminantes con un alto grado de efectividad.

En algunos motores, la sonda lambda descrita no da resultados totalmente satisfactorios. Las dificultades provienen principalmente de la falta de uniformidad en la composición de los gases de escape para cada una de las diferentes condiciones de funcionamiento del motor. En estos casos suele utilizarse una sonda lambda con caldeo eléctrico como la representada en la figura 36, cuya estructura es similar a la de la sonda convencional, con el añadido de una resistencia interna, cuyo elemento calefactor 1 se conecta a los terminales 2 y 3 de alimentación de corriente eléctrica, proporcionada por el módulo electrónico de control del sistema de alimentación de combustible. De esta manera, este tipo de sonda se diferencia del anterior externamente en que dispone de tres bornes de conexión, de los cuales, dos corresponden al caldeo y el tercero a la señal de mando de la sonda.

La calefacción permite que la temperatura del cuerpo cerámico de la sonda se mantenga sobre el límite de funcionamiento (350°C), cualquiera que sea la temperatura de los gases de escape, lo cual posibilita una actuación rápida de la regulación lambda, a sólo treinta segundos del arranque del motor, lo que permite un comportamiento de regulación de gran seguridad en la marcha a bajas temperaturas (ralentí), o cuando los gases de escape se enfrían en exceso. Por otro lado, este tipo de sonda permite mayor libertad para elegir el emplazamiento y apenas se ve afectada por la suciedad de los gases de escape.

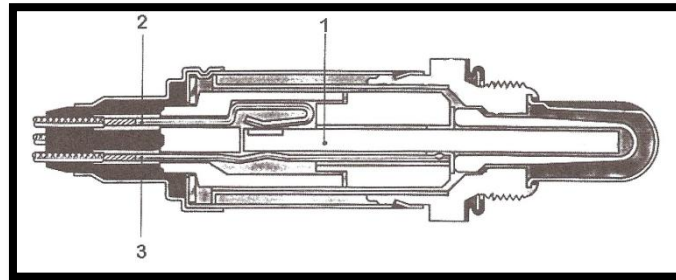


Figura 36. Sonda lambda calefactada

El funcionamiento de la regulación lambda es controlado por la unidad electrónica de control del sistema de alimentación de combustible, de manera que en ciertas fases de funcionamiento del motor deja inoperante la sonda lambda, como ocurre, por ejemplo, en la fase de funcionamiento en frío del motor, posterior al arranque, donde se requiere una mezcla relativamente rica que compense las condensaciones que se producen en estas condiciones de funcionamiento. Del mismo modo, en las fases de aceleración, es preciso obtener un enriquecimiento de la mezcla necesario para conseguir una subida rápida de potencia en el motor, por lo que no es deseable la regulación lambda. En cualquiera de estas condiciones, la unidad de control ignora la señal recibida de la sonda lambda y ajusta la riqueza a un valor preestablecido. Una vez superado este estado de funcionamiento transitorio, la regulación lambda se restablece.

Durante el proceso de regulación, si el estado de la sonda es el correspondiente a mezcla rica (señal aproximada a 900mV), la unidad de control corregirá la riqueza empobreciendo, tanto más, cuanto mayor sea la señal enviada por la sonda, hasta que el estado de la misma cambie indicando mezcla pobre (señal de aproximadamente 100mV), en cuyo momento la unidad de control comienza a enriquecer la mezcla, repitiéndose este ciclo indefinidamente mientras el motor esté en funcionamiento. Sin embargo, si después de un intervalo de tiempo predeterminado realizando la corrección la sonda lambda no detecta ningún cambio en el estado de la mezcla, la unidad de control pasa a una situación de

emergencia en la que ignora la señal recibida y establece una riqueza de mezcla predeterminada.

La figura 37 muestra la gráfica de eficacia de un catalizador en función de la relación aire-combustible (coeficiente λ), que puede verse es máxima para un valor de $\lambda=1$, denominándose esta zona ventana de trabajo o ventana lambda. En el entorno de esta ventana, los contaminantes han desaparecido casi por completo mediante el ulterior tratamiento de éstos en el catalizador, pero a la izquierda y derecha de la ventana crecen los valores inmediatamente, como se muestra en el gráfico de la figura 38. La sonda lambda es la encargada de controlar que la zona de trabajo se sitúe dentro de la ventana lambda.

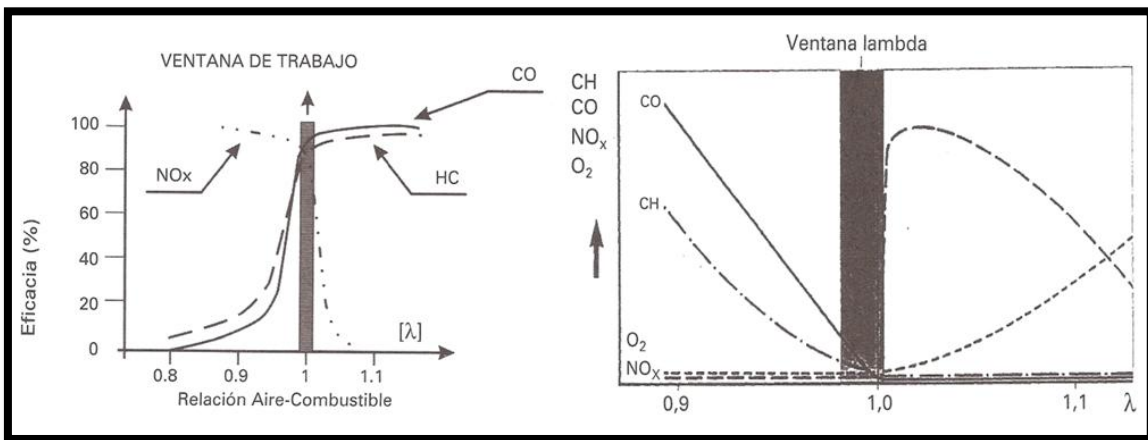


Figura 37

Figura 38

Figura 37. Eficacia de un catalizador en función de la relación aire-combustible

Figura 38. Proporción de contaminantes en función del valor lambda

4.1. TIPOS DE SONDA LAMBDA

4.1.1. SONDA LAMBDA DE DIÓXIDO DE CIRCONIO

Esta sonda lambda consta de un electrolito sólido de circonio. Este material es conductor iónico de oxígeno a partir de 300°C.



Figura 39. Sonda lambda de dióxido de circonio

El contenido de oxígeno en el gas de escape se mide mediante los electrodos situados en la parte interior (referencia/aire ambiental) y la parte del gas de escape (gas de medición). La señal de salida se crea con los iones de oxígeno que se mueven por el elemento e intentan compensar la diferencia de oxígeno (diferencia en la presión parcial de oxígeno).

La sonda lambda de dióxido de circonio se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Rápida puesta en funcionamiento
- Resistencia térmica
- Resistencia a la toxicidad
- Alto grado de fiabilidad

Estas sondas se utilizan, dependiendo del vehículo, como sondas reguladoras, es decir antes del catalizador, y de diagnóstico, posteriores al catalizador.

El elemento de dióxido de circonio de la sonda es digitiforme y hueco. La parte interior está en contacto con el aire ambiental. La parte exterior se sitúa en la corriente de los gases de escape. Ambos lados están recubiertos por una capa de platino porosa y fina que funciona como un electrodo.

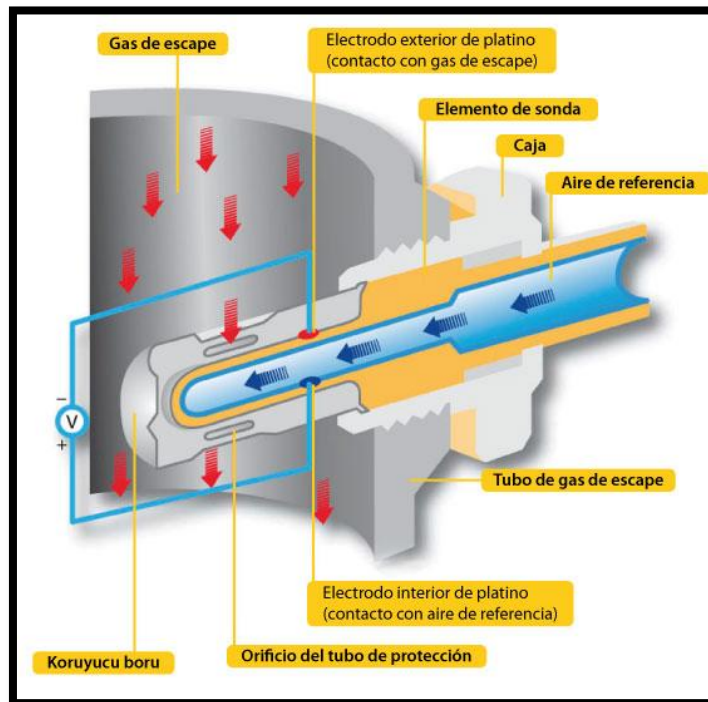


Figura 40. Disposición de la sonda lambda en el tubo de escape

Cuando la sonda Lambda alcanza la temperatura de funcionamiento, los iones de oxígeno empiezan a fluir debido a la diferencia en la concentración de oxígeno. Los iones de oxígeno se mueven desde el aire exterior en dirección al gas de escape a fin de equilibrarlos.

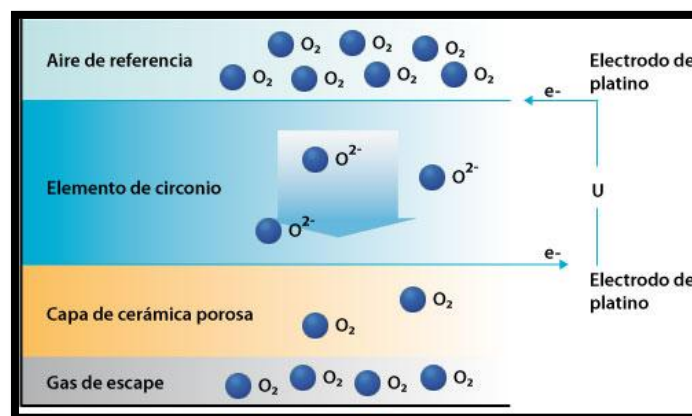


Figura 41. Proceso químico sufrido en sondas lambda

Debido a la diferencia de potencial que se genera se crea una tensión eléctrica (U) en el electrodo de platino. Si la mezcla es pobre, la señal de la sonda será de aproximadamente

0,1 voltios. Si la mezcla es rica, será de 0,9 voltios. En el caso de alcanzar valores de $\lambda=1$, se produce un salto característico en la tensión de 0,8 voltios.

En lo referente a los cables de los que dispone nuestra sonda podemos encontrarnos ante diferentes situaciones en función de si la sonda lambda está calentada o no.

Las sondas no calentadas con contacto de masa a través de la rosca tienen sólo una línea de transmisión negra. Las sondas no calentadas con contacto de masa al sistema eléctrico del vehículo disponen además de un cable de masa gris.

Las sondas calentadas disponen de tres o cuatro cables. También en este caso el negro transmite de forma constante la señal de la sonda. Hay otros dos cables que se encargan del suministro de corriente del calefactor. Si la conexión de masa no se realiza a través de la rosca habrá una conexión de masa adicional al sistema eléctrico del vehículo.

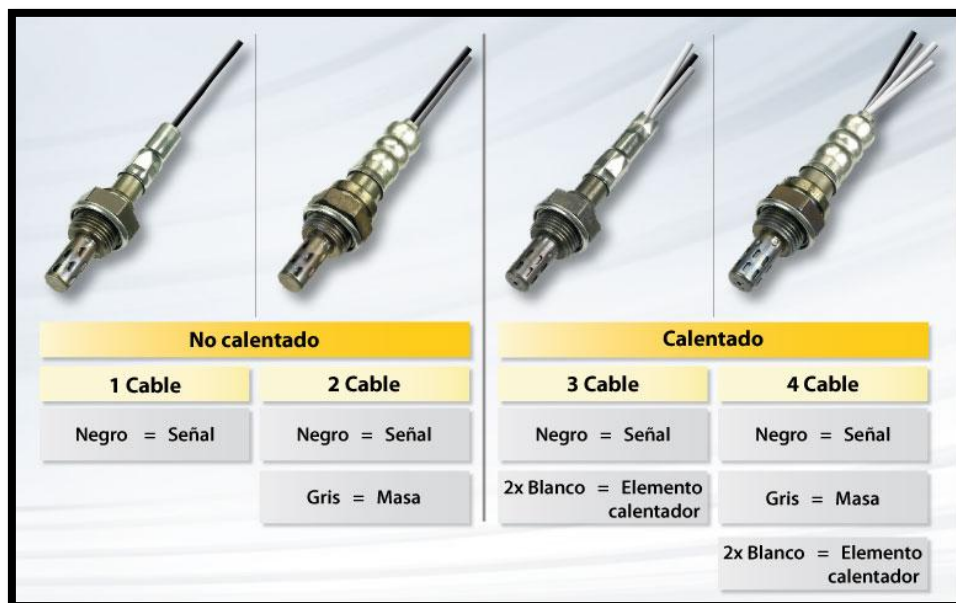


Figura 42. Disposición de cables en función del tipo de sonda lambda

4.1.2. SONDA LAMBDA DE DIÓXIDO DE TITANIO

La sonda lambda de dióxido de titanio también es una sonda binaria. El dióxido de titanio tiene una propiedad especial, y es que la resistencia eléctrica se modifica de forma proporcional a la cantidad de oxígeno en el gas de escape. En este caso, la resistencia medida informa sobre el estado de funcionamiento en el que se encuentra el motor.



Figura 43. Sonda lambda de dióxido de titanio

La sonda lambda de dióxido de titanio se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Es robusta y compacta
- Presenta una gran velocidad de reacción
- No necesita aire de referencia
- Alcanza rápidamente la temperatura de funcionamiento

Antaño estas sondas se utilizaban, dependiendo del vehículo, como sondas reguladoras y de diagnóstico, pero en los equipos originales ya no se utilizan, siendo las sondas lambda de circonio las empleadas mayoritariamente.

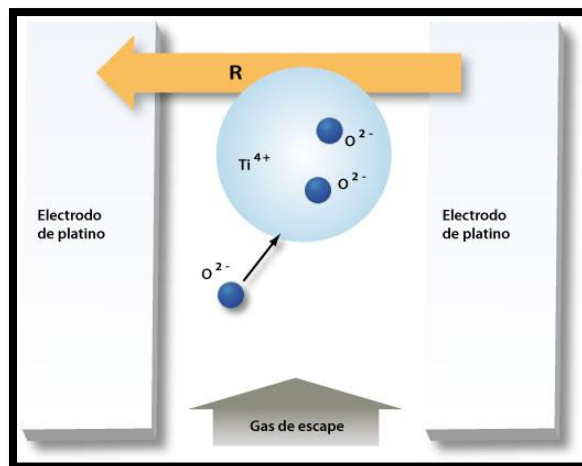


Figura 44. Funcionamiento de la sonda lambda de dióxido de titanio

El elemento de dióxido de titanio modifica su resistencia eléctrica de forma proporcional a la presión parcial de oxígeno en la mezcla de gases. Si la proporción de oxígeno

es elevada ($\lambda > 1$) la conductividad del dióxido de titanio es menor, mientras que si la proporción de oxígeno es baja ($\lambda < 1$) su conductividad es mayor.

Si el elemento de dióxido de titanio se somete a una determinada tensión, la tensión de salida se modificará en función de la concentración de oxígeno en los gases de escape. La temperatura de funcionamiento de estas sondas Lambda ronda los 700 °C, a partir de 850 °C la sonda puede estropearse.

Otra ventaja que presentan este tipo de sondas es que no necesitan aire exterior como referencia, por lo que es más pequeña.

Las sondas lambda de dióxido de titanio tienen siempre cuatro cables. En todos los tipos, la señal (-) es negra, la señal (+) es amarilla y la conexión del elemento térmico (-) blanca. La conexión del elemento térmico (+) puede variar entre gris o rojo.



Figura 45. Asignación de cables para sondas lambda de dióxido de titanio

4.1.3. SONDA LAMBDA DE BANDA ANCHA

A partir de la aprobación de la legislación correspondiente para la reducción de las emisiones y el consumo, surge la necesidad de que los motores funcionen de forma regulada al margen de la mezcla estequiométrica.



Figura 46. Sonda lambda de banda ancha

Estas sondas lambda lineales pueden emitir una señal proporcional a la cantidad de oxígeno residual contenida en el gas de escape. Esta señal está disponible en una amplia relación de aire y combustible.

La señal de salida se corresponde con el flujo bombeado necesario para fijar un nivel de oxígeno constante en una cámara de medición ($\text{Lambda} = 1$ se corresponde con 450 mV). Cuanto más se aleje de este valor el gas de escape que se introduce, mayor será el flujo bombeado y en consecuencia, la señal de salida de la sonda.

La sonda lambda de banda ancha tiene las siguientes ventajas:

- Rápida puesta en funcionamiento
- Elemento monolítico con calefactor integrado
- Estructura hermética para generar automáticamente una referencia del oxígeno
- Resistencia térmica
- Alto grado de fiabilidad

Estas sondas lambda son las que se utilizan de forma habitual en los motores de gasolina y tienen múltiples aplicaciones en los vehículos diesel.

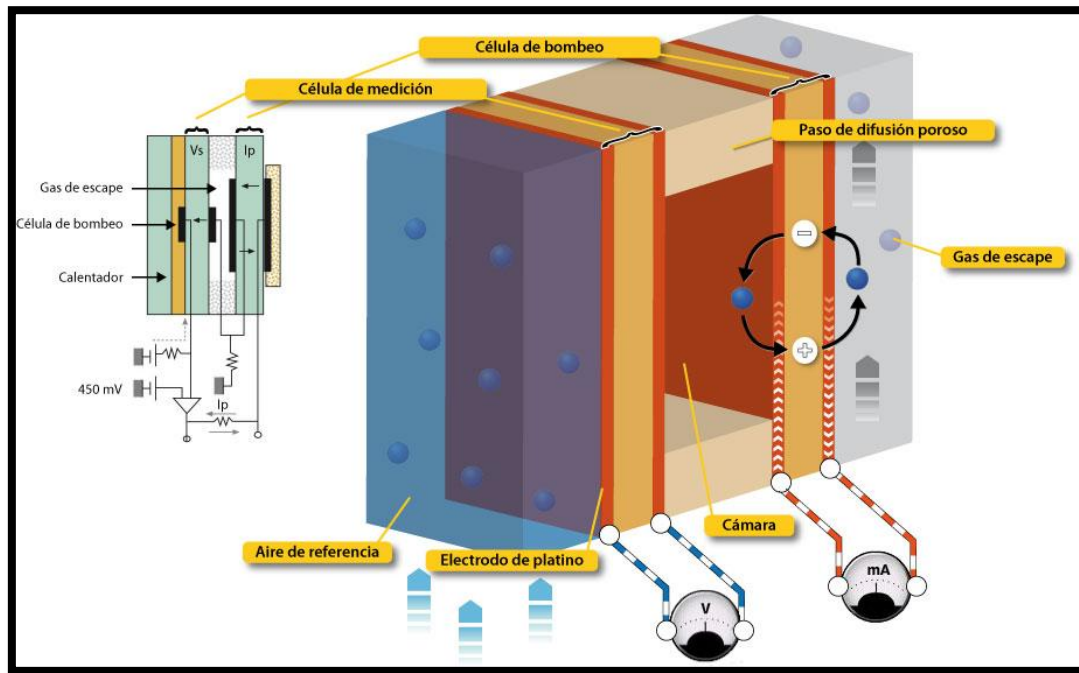


Figura 47. Presentación espacial del elemento de una sonda lambda de banda ancha

Estas sondas tienen dos células: una célula de medición y una célula de bombeo. Con la célula de medición se mide la cantidad de oxígeno contenida en el gas de escape que se encuentra en la cámara de detección y se compara con un valor nominal de 450 mV.

Si los valores difieren, se conecta una corriente de bombeo a la célula de bombeo para que entren en la cámara o salgan de ella (según corresponda) los iones de oxígeno que sea necesario para que la tensión de la célula de medición sea nuevamente de 450 mV.

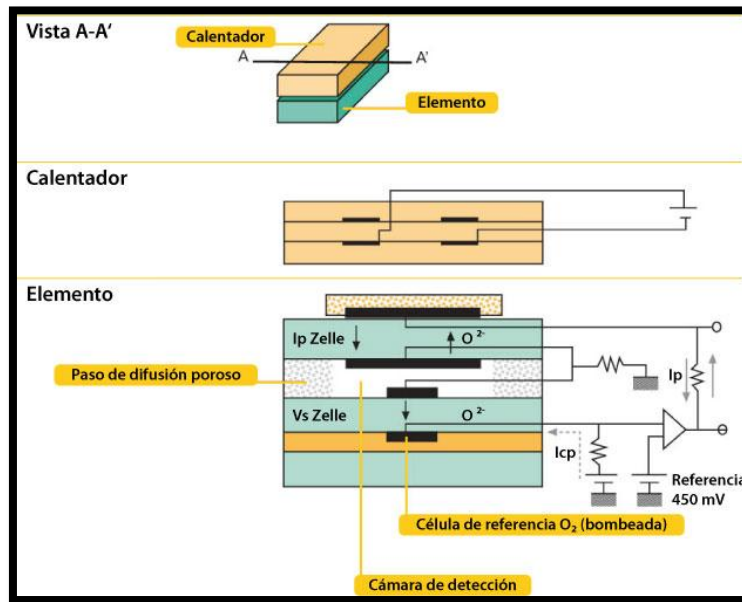


Figura 48. Selección por el elemento planar de una sonda lambda de banda ancha

Este flujo de bombeo es la magnitud que describe el valor lambda exacto de la mezcla de forma casi lineal. En las mezclas estequiométricas es igual a cero porque la presión parcial del oxígeno de la cámara de detección se corresponde con el valor nominal arriba indicado.

Las sondas lambda de banda ancha disponen de cinco conexiones de cables. El elemento calefactor se alimenta de corriente a través del amarillo y azul. La señal del flujo de bombeo (I_{p+}) fluye por el cable blanco, la de la célula de medición (V_{s+}) por el cable gris. El cable negro representa la conexión de masa para la célula de bombeo y de medición.



Figura 49. Asignación de cables para sondas lambda de banda ancha

4.1.4. SONDAS LAMBDA PARA MOTOS

También los fabricantes de motos tienen que buscar soluciones para poder cumplir las normativas relativas a los gases de escape, que cada vez son más exigentes. Cada vez son más las motos nuevas que se fabrican con un catalizador regulado y sonda Lambda. Para este tipo de aplicaciones hay sondas lambda de reducido tamaño.



Figura 50. Sonda lambda para motos

Estas sondas especiales son resistentes y compactas y alcanzan muy rápidamente la temperatura de funcionamiento. El ámbito de aplicación de estas sondas son motos con catalizador regulado.

Su elemento de sonda puede resistir temperaturas extremadamente elevadas, por lo que puede montarse cerca del motor y alcanzar rápidamente, incluso sin el calefactor, la temperatura de funcionamiento necesaria. La ventaja de esta sonda es su reducido tamaño. Además, el cable se "conecta" a la sonda como a una bujía, lo cual denota su facilidad de montaje.

4.2. PROBLEMAS QUE SURGEN ANTE SONDAS LAMBDA DEFECTUOSAS

Debido a su posición de montaje, las sondas lambda están expuestas a altas temperaturas, sustancias químicas agresivas y vibraciones, por ello, se gastan y envejecen. Se recomienda revisar su funcionamiento cada 30.000 km y/o cada vez que se realice una inspección de los gases de escape. Si la marcha del motor no es silenciosa o aumenta el consumo de combustible, la sonda podría estar dañada.

Si la sonda está deteriorada, la señal que emite es demasiado débil o demasiado lenta. Las sondas viejas ofrecen amplitudes de tensión reducidas con intervalos de respuesta largos. Además del desgaste normal, los daños pueden deberse a otras causas, como pueden ser depósitos de carbonilla o contactos oxidados.

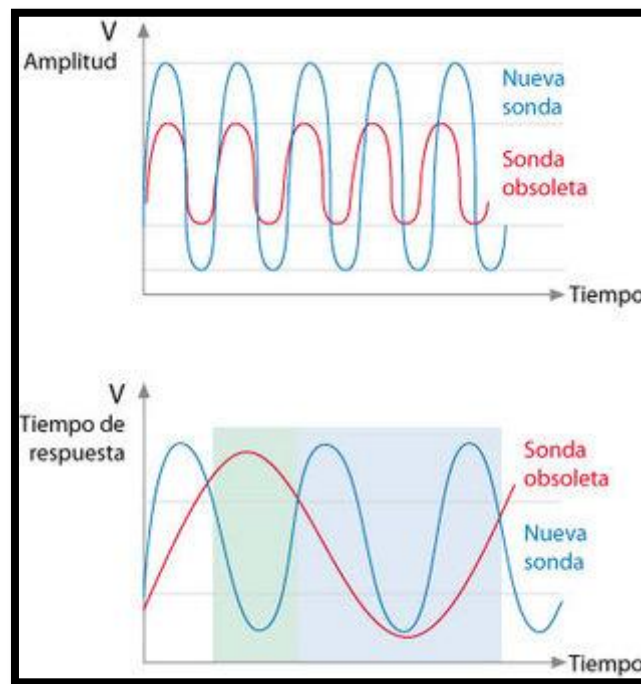


Figura 51. Variación de funcionamiento ante sondas lambda defectuosas

Si la unidad de control del motor no recibe la señal de la sonda Lambda o ésta es demasiado débil no podrá determinar cuál es la composición de la mezcla que se está quemando. Por lo tanto, conectará el funcionamiento de emergencia y enriquecerá la mezcla automáticamente. Es decir, añadirá más combustible del que sería necesario. De esta forma se garantiza el rendimiento solicitado y se protege a los componentes de un sobrecalentamiento.

Este comportamiento tiene unas consecuencias negativas. Por un lado, aumenta considerablemente el consumo del vehículo (hasta una media del 15 %). Por otra parte, el

catalizador deja de funcionar correctamente, aumentando así el grado de contaminación al medio ambiente.



Figura 52. Ejemplos de imágenes de sondas lambda deterioradas

Depósitos blancos/grises

Si se aprecian depósitos blancos o grises fuertes será indicio de que se utilizan aditivos o de que el motor quema aceite.

Contactos oxidados

En este caso parece que ha entrado agua y que ha corroído los contactos. Cuando se cambie la sonda, deberá comprobarse bien que el conector está perfectamente ajustado, así como todas las conexiones entre la sonda y la unidad de control del motor.

Residuos de carbonilla

El tubo de protección presenta depósitos de carbonilla debido, por ejemplo, a una mezcla demasiado rica, al desgaste del motor y las válvulas o a la existencia de fugas en el sistema de escape. Dado que estos depósitos obstruyen los orificios del tubo de protección, la sonda deja de funcionar correctamente.

4.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO

Los diferentes modos de funcionamiento del sistema de inyección de gasolina hacen posible una adaptación óptima a cada estado de servicio del motor. La conmutación del modo de funcionamiento durante la marcha se efectúa sin cambios bruscos del par motor y, por tanto, sin que lo advierta el conductor.



4.3.1. FUNCIONAMIENTO CON CARGA ESTRATIFICADA

En el margen inferior del par motor, a número de revoluciones de aproximadamente 3000 min^{-1} el motor funciona con carga estratificada. Para ello, la válvula de inyección inyecta el combustible durante la carrera de compresión, poco antes del momento de encendido. Durante el breve tiempo disponible hasta el momento de encendido, la corriente de aire reinante en la cámara de combustión transporta la mezcla de aire y combustible preparada a la bujía de encendido. A causa del retardado momento de inyección la mezcla no se distribuye en toda la cámara de combustión.

En funcionamiento con carga estratificada la mezcla es muy pobre, considerándola repartida entre toda la cámara de combustión. Con un gran exceso de aire, la emisión bruta de NO_x es muy alta. Una alta cuota de realimentación de gases de escape pone remedio a ello. Los gases de escape reconducidos al cilindro reducen la temperatura de combustión y disminuyen las emisiones de NO_x , dependientes de la temperatura.

Las magnitudes “número de revoluciones” y “par motor” limitan el funcionamiento con carga estratificada. Si el par motor es elevado, se forma hollín a causa de una mezcla rica en puntos locales. Si el número de revoluciones es demasiado alto, no se puede mantener ya la estratificación de la carga ni el transporte ordenado de la mezcla a la bujía de encendido, a causa de la turbulencia excesiva.

4.3.2. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA

Al ser altos el par motor y el número de revoluciones, en lugar de la carga estratificada se hace funcionar el motor de modo homogéneo con $\lambda=1$ (en casos excepcionales con $\lambda<1$). El comienzo de la inyección de combustible se encuentra en la carrera de aspiración, pudiéndose distribuir la mezcla de aire y combustible en toda la cámara de combustión. La masa de combustible inyectada está dosificada de tal manera que la mezcla de aire y combustible se encuentra en la relación estequiométrica o, en casos excepcionales, con un ligero exceso de combustible ($\lambda\leq 1$).

Este modo de funcionamiento es necesario en caso de solicitarse un alto par motor, puesto que aprovecha toda la cámara de combustión. Por ser estequiométrica la mezcla de aire y combustible existente, en este modo de funcionamiento la emisión bruta de contaminantes es baja también.



4.3.3. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA POBRE

Durante la transición de funcionamiento con carga estratificada a funcionamiento con mezcla homogénea puede hacerse trabajar el motor con mezcla homogénea pobre ($\lambda > 1$). El consumo de combustible en funcionamiento con mezcla homogénea pobre es menor que el correspondiente al funcionamiento con mezcla homogénea de $\lambda \leq 1$, por ser menores las pérdidas por cambios de carga al suprimirse la estrangulación.

4.3.4. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA Y CARGA ESTRATIFICADA

Una mezcla homogénea pobre llena toda la cámara de combustión en el funcionamiento con mezcla homogénea y carga estratificada. Esta mezcla se forma por la inyección de un reducido caudal de combustible durante la carrera de aspiración.

Tiene lugar una segunda inyección (inyección doble) durante la carrera de compresión. De esa manera se forma una zona más rica en el sector de la bujía de encendido. Esta carga estratificada se inflama fácilmente y puede encender con la llama la mezcla homogénea pobre en el resto de la cámara de combustión.

El funcionamiento con mezcla homogénea y carga estratificada se activa por algunos ciclos durante la conmutación de funcionamiento con carga estratificada a funcionamiento con mezcla homogénea. De esta manera el sistema de mando del motor puede ajustar mejor el par motor durante la conmutación y por la aplicación de la mezcla básica muy pobre, de $\lambda > 2$, disminuyen las emisiones de NO_x .

El factor de repartición entre las dos inyecciones es del 75% aproximadamente. Eso significa que el 75% del combustible se inyecta en la primera inyección, que proporciona la mezcla básica homogénea.

Un funcionamiento estacionario de la inyección doble a bajos números de revoluciones durante la transición de funcionamiento con carga estratificada a funcionamiento con mezcla homogénea reduce la emisión de hollín en comparación con el funcionamiento con carga estratificada y disminuye el consumo de combustible en comparación con el funcionamiento con mezcla homogénea.



4.3.5. FUNCIONAMIENTO CON MEZCLA HOMOGÉNEA Y CARGA ESTRATIFICADA ANTIDETONANTE

Con el empleo de la inyección doble a plena carga, en este modo de funcionamiento se puede renunciar a una variación del ángulo de encendido hacia “retardo” para evitar el picado, ya que la carga estratificada impide la detonación. Del ángulo de encendido más favorable al mismo tiempo resulta un par motor más alto.

4.3.6. CARGA ESTRATIFICADA Y CALENTAMIENTO RÁPIDO DEL CATALIZADOR

Otro modo de la inyección doble hace posible el rápido calentamiento del tramo de escape; para ello, sin embargo, el tramo de escape debe estar optimizado a esta aplicación. En este modo, en funcionamiento con carga estratificada con un alto exceso de aire se inyecta primeramente durante la carrera de compresión (como en el modo de “funcionamiento con carga estratificada”) y luego otra vez durante la fase de trabajo. Esta última parte de combustible se quema muy tarde y calienta en alto grado el lado de escape y el colector de escape.

Otro caso importante de aplicación es el calentamiento del catalizador de NO_x hasta temperaturas superiores a 650°C , para iniciar la eliminación del azufre del catalizador. Para ello es forzosamente necesaria la inyección doble, puesto que con medidas de calentamiento convencionales no se puede alcanzar esta temperatura tan alta en todos los casos de servicio.



Capítulo 5

CATALIZADORES

La legislación sobre gases de escape establece límites para la emisión de contaminantes producidos durante la combustión en el motor de gasolina. Para poder observar estos límites es preciso tomar medidas para el tratamiento ulterior catalítico de los gases de escape.

Los gases de escape pasan por el catalizador (figura 1, pos 3) intercalado en el sistema de escape, antes de que lleguen al exterior. En el catalizador unos recubrimientos apropiados cuidan de que los contaminantes existentes en los gases de escape sufran una reacción química, siendo convertidos en sustancias inofensivas. Unas sondas lambda (2, 4) miden el oxígeno residual contenido en los gases de escape. De este modo se puede ajustar la mezcla de aire-combustible de manera que el catalizador presente su máxima eficiencia.

En el curso del tiempo han encontrado aplicación diferentes principios de catalizador. El estado actual de la técnica para motores con distribución homogénea de la mezcla y funcionamiento con $\lambda=1$ lo constituye el catalizador de tres vías. Los motores que funcionan con mezcla pobre necesitan adicionalmente un catalizador acumulador de NO_x .

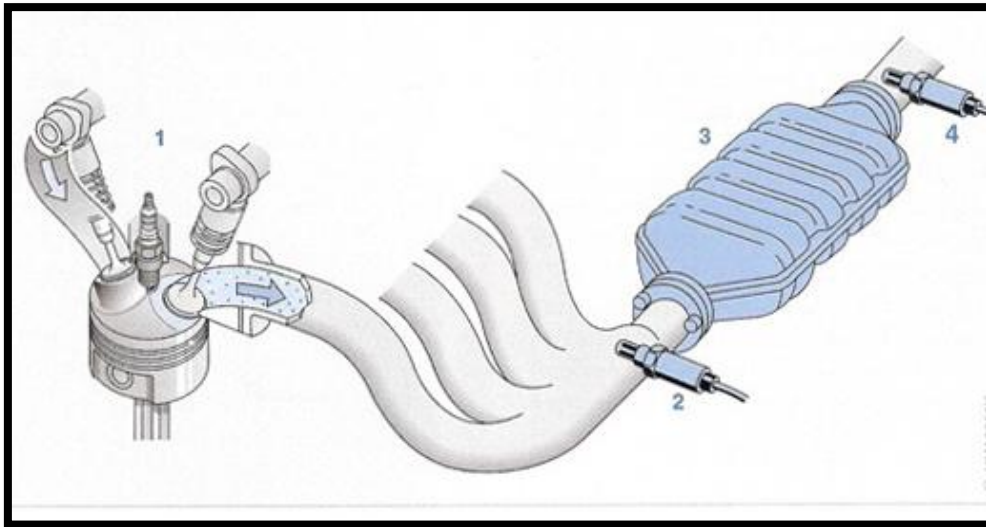


Figura 53. Tramo del sistema de escape con un catalizador de tres vías montado con sondas lambda

5.1. TIPOS DE CATALIZADORES

5.1.1. CATALIZADOR DE OXIDACIÓN

El catalizador de oxidación convierte los hidrocarburos y el monóxido de carbono contenido en los gases de escape por oxidación en vapor de agua y dióxido de carbono. El oxígeno necesario para la oxidación se obtiene de un ajuste pobre de la mezcla ($\lambda > 1$) o mediante la insuflación de aire en el sistema de escape delante del catalizador. Los óxidos de nitrógeno no pueden ser transformados por el catalizador de oxidación.

Por primera vez se utilizaron catalizadores de oxidación en vehículos en 1975 en EE.UU., para observar las disposiciones de los gases entonces válidas. Hoy día, los catalizadores con propiedades exclusivamente oxidantes se utilizan raramente.

5.1.2. CATALIZADOR DE TRES VÍAS

El catalizador de tres vías es una parte integrante del sistema de depuración de los gases de escape tanto para motores de inyección en el tubo de admisión como también de inyección directa de gasolina.

El catalizador de tres vías tiene la función de convertir los tres componentes contaminantes HC (hidrocarburos), CO (monóxido de carbono) y NO_x (óxidos de nitrógeno) producidos durante la combustión de la mezcla aire-combustible en componentes inofensivos,



originándose como productos finales H_2O (vapor de agua), CO_2 (dióxido de carbono) y N_2 (nitrógeno).

La conversión de los contaminantes (depuración de los gases de escape) se efectúa en dos fases: el monóxido de carbono y los hidrocarburos se transforman por oxidación (ecuac. 1 y 2). El oxígeno necesario para la oxidación o se encuentra en los gases de escape como oxígeno residual a causa de una combustión incompleta, o se toma de los óxidos de nitrógeno, que de este modo son a su vez reducidos (ecuac. 3 y 4).

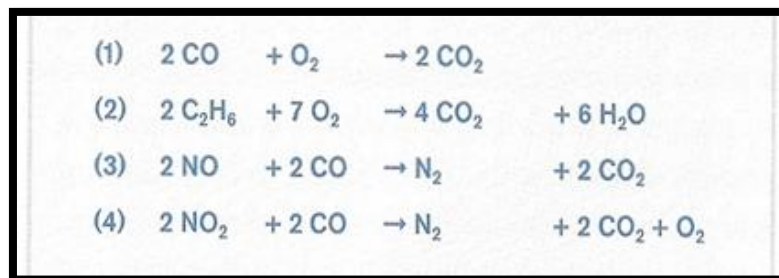


Figura 54. Ecuaciones de las reacciones en el catalizador de tres vías

Las concentraciones de contaminantes en los gases de escape brutos dependen del coeficiente de aire λ ajustado (figura 55a). La cuota de conversión de hidrocarburos (HC) y del monóxido de carbono se incrementa constantemente a medida que aumenta el coeficiente de aire (figura 55b). Con $\lambda=1$, la parte de esos componentes contaminantes es todavía muy pequeña. Con un coeficiente de aire más alto, la concentración de estos contaminantes permanece a este bajo nivel.

La conversión de los óxidos de nitrógeno (NO_x) es buena en el campo de mezcla rica ($\lambda < 1$). La concentración de NO_x más baja se encuentra en el funcionamiento estequiométrico, pero un pequeño aumento de la parte de oxígeno en los gases de escape a causa del funcionamiento con $\lambda > 1$ impide la reducción de los óxidos de nitrógeno y hace que su concentración aumente de manera muy pronunciada.

Para que la cuota de conversión del catalizador de tres vías sea lo más alta posible para los tres componentes contaminantes, éstos deben encontrarse en un equilibrio químico, lo que exige una composición de la mezcla en la relación estequiométrica. La ventana en la que ha de encontrarse la relación del circuito de regulación aire-combustible es por ello muy pequeña.

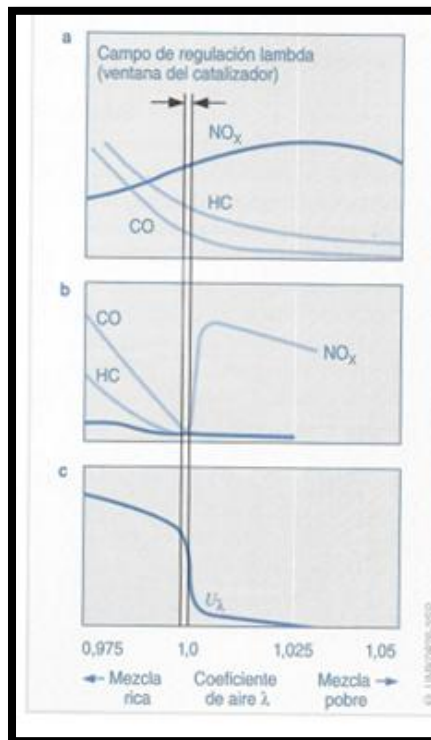


Figura 55. Contaminantes en los gases de escape en base al valor del coeficiente lambda

El catalizador se compone de un recipiente de chapa como cuerpo (6), un soporte (5) y el recubrimiento catalítico activo de metal (4).

Como soporte se han impuesto principalmente dos sistemas. Los monolitos cerámicos son cuerpos de cerámica atravesados por varios miles de pequeños canales, los cuales son recorridos a su vez por los gases de escape. La cerámica se compone de magnesio-aluminio-silicato y es resistente a altas temperaturas. El monolito, que reacciona de modo extremadamente sensible a tensiones mecánicas, está fijado dentro de un cuerpo de chapa. Para ello se emplean esteras minerales de hinchamiento (2), que en el primer calentamiento se expanden permaneciendo en este estado y sirven al mismo tiempo de elemento estanqueizante frente a los gases de escape. Los monolitos cerámicos actualmente son los soportes de catalizador aplicados con más frecuencia.

El catalizador metálico es una alternativa del monolito cerámico. Consiste en un arrollamiento de una delgada hoja metálica finamente ondulada de 0,05 mm de espesor, habiendo sido soldado en un proceso de alta temperatura. Gracias a las delgadas paredes se pueden disponer más canales sobre una misma superficie. Eso significa una menor resistencia

para los gases de escape, lo que aporta ventajas para la optimización del rendimiento de motores de alta potencia.

Los monolitos cerámicos y metálicos requieren una capa de soporte de óxido de aluminio (Al_2O_3)(4). Esta capa aumenta la superficie activa del catalizador por el factor de 7000. La capa catalítica activa aplicada en catalizadores de oxidación contiene metales preciosos como platino y/o paladio; en los catalizadores de tres vías, adicionalmente contiene rodio. El platino y el paladio aceleran la oxidación de los hidrocarburos y monóxido de carbono; el rodio de los óxidos de nitrógeno.

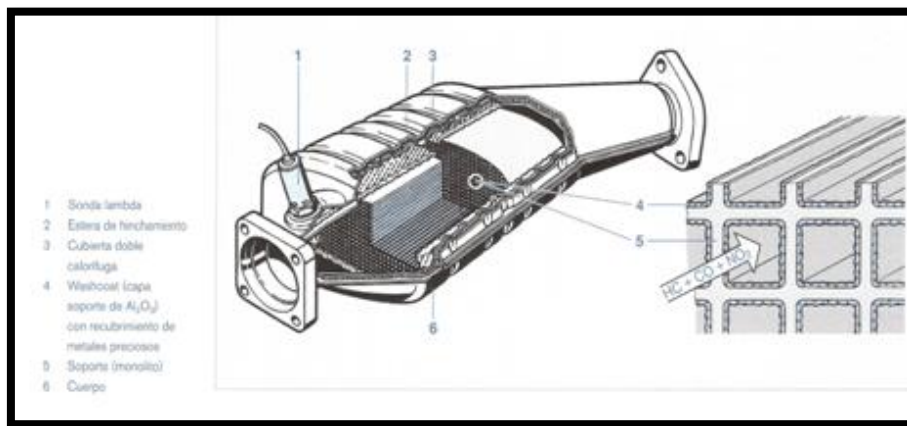


Figura 56. Catalizador de tres vías con sonda lambda

La temperatura del catalizador tiene muchísima importancia en la depuración de los gases de escape. En el catalizador de tres vías no se inicia una conversión de los contaminantes digna de mención hasta alcanzarse una temperatura de servicio de más de 300°C. Para altas cuotas de conversión y una larga duración reinan condiciones de servicio ideales en el margen de temperaturas de 400-800°C.

El envejecimiento térmico aumenta notablemente en el margen de 800-1000°C por sinterización de los metales preciosos y de la capa de soporte Al_2O_3 , lo que ocasiona una reducción de la superficie activa. El tiempo de servicio también tiene gran influencia en este margen de temperatura. Por encima de 1000°C el envejecimiento térmico aumenta enormemente y ocasiona la casi completa ineficacia del catalizador.

Las severas prescripciones sobre gases de escape exigen conceptos especiales para el calentamiento del catalizador al arrancar el motor. Esos conceptos determinan el lugar de montaje del catalizador. Las propiedades del catalizador de tres vías respecto a la temperatura de servicio limitan la posibilidad de montaje. Partiendo de las condiciones térmicas necesarias



para una alta transformación, es indispensable montar el catalizador de tres vías cerca del motor.

Otra condición para un servicio fiable de larga duración es el funcionamiento del motor con combustible sin plomo. Los compuestos de plomo se posan en los poros de la superficie activa o se depositan directamente sobre ellos y reducen su cantidad, pero también residuos del aceite del motor pueden destruirlo hasta su ineficacia.

El tratamiento ulterior catalítico de los gases de escape con ayuda del catalizador de tres vías en la actualidad es el procedimiento de depuración de gases de escape más eficaz para el motor de gasolina con distribución homogénea de la mezcla. Una parte integrante es la regulación lambda, que vigila la composición de la mezcla de aire y combustible. Con el catalizador de tres vías se puede impedir casi por completo la expulsión de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, con una distribución homogénea de la mezcla y una composición estequiométrica de ésta. Estas condiciones ideales de servicio, sin embargo, no se pueden mantener siempre. Ello no obstante supone una reducción por término medio de los contaminantes de más del 98%.

5.1.3. CATALIZADOR ACUMULADOR DE NO_x

En los modos de funcionamiento con mezcla pobre el catalizador de tres vías no puede transformar por completo los óxidos de nitrógeno que se producen durante la combustión. En este caso el oxígeno para el proceso de oxidación del monóxido de carbono y de los hidrocarburos no se disocia de los óxidos de nitrógeno, sino que se toma de la alta parte de oxígeno residual contenida en los gases de escape. El catalizador acumulador de NO_x descompone los óxidos de carbono de otra manera.

El catalizador acumulador de NO_x está estructurado de modo similar al catalizador de tres vías. Adicionalmente el recubrimiento con platino, paladio y rodio, contiene aditivos especiales que pueden acumular óxidos de nitrógeno. Típicos materiales acumuladores contienen por ejemplo óxidos de potasio, calcio, estroncio, circonio, lantano o bario.

El recubrimiento para la acumulación de NO_x y el recubrimiento del catalizador de tres vías pueden estar colocados sobre un soporte común.

Por razón del recubrimiento de metales preciosos, el catalizador acumulador de NO_x en el funcionamiento con $\lambda=1$ actúa como un catalizador de tres vías. Adicionalmente transforma los óxidos de nitrógeno no reducidos en los gases de escape pobres. Esta transformación no se



efectúa sin embargo de modo continuado como con el monóxido de carbono y los hidrocarburos, sino que transcurre en tres etapas.

1. Acumulación de NO_x
2. Desacumulación de NO_x
3. Transformación

Los óxidos de nitrógeno son oxidados de modo catalítico en la superficie del recubrimiento de platino convirtiéndose en dióxido de nitrógeno. A continuación el NO_2 reacciona con los óxidos especiales de la superficie del catalizador y oxígeno convirtiéndose en nitratos. Así, por ejemplo el NO_2 forma con el óxido de bario el compuesto químico nitrato de bario. El catalizador acumulador de NO_x acumula por consiguiente los óxidos de nitrógeno que se originan durante el funcionamiento con exceso de aire.

Existen dos posibilidades de reconocer cuándo el catalizador está saturado y ha terminado la fase de acumulación:

- El procedimiento basado en un modelo calcula la cantidad de NO_x acumulado, teniendo en cuenta la temperatura del catalizador.
- Un sensor de $\text{NO}_x(6)$ dispuesto detrás del catalizador mide la concentración de NO_x en los gases de escape.

A medida que aumenta la cantidad de óxidos de nitrógeno acumulados (carga), disminuye la capacidad de seguir ligando óxidos de nitrógeno. A partir de determinada cantidad tiene que efectuarse una regeneración, es decir, los óxidos de nitrógeno acumulados tiene que ser quitados y transformados. Para ello se conmuta por breve tiempo a funcionamiento con mezcla homogénea rica. Los procesos para la desacumulación del NO_x y la conversión en nitrógeno y dióxido de carbono se desarrollan por separado. Como agentes reductores se emplean H_2 , HC y CO. La velocidad de la reacción de la reducción con HC es la más lenta; con H_2 , la más rápida. La desacumulación, representada a continuación con monóxido de carbono como agente reductor, se efectúa de manera que el monóxido de carbono reduce el nitrato (nitrato de bario), convirtiéndolo en un óxido (óxido de bario). De ello se originan dióxido de carbono y monóxido de nitrógeno. A continuación el recubrimiento de rodio reduce los óxidos de nitrógeno mediante monóxido de carbono convirtiéndolos en nitrógeno y dióxido de carbono.

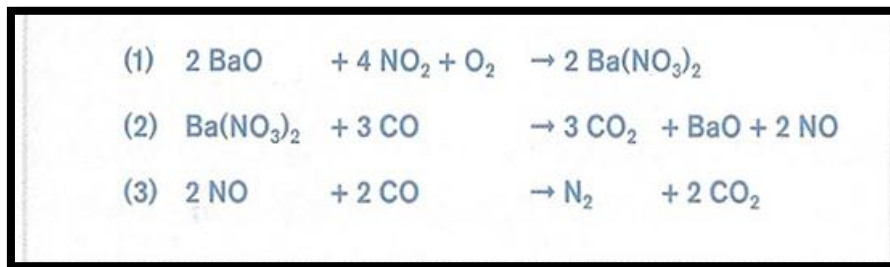


Figura 57. Ecuaciones de las reacciones en la fase de acumulación de NO_x (1), fase de acumulación (2) y transformación (3)

Existen dos procedimientos diferentes para reconocer el fin de la fase de desacumulación:

- El procedimiento basado en un modelo calcula la cantidad de NO_x todavía existente en el catalizador acumulador de NO_x .
- Una sonda lambda (6) dispuesta detrás del catalizador mide la concentración de oxígeno en los gases de escape y señala un salto de la tensión de mezcla pobre a mezcla rica, cuando ha concluido la desacumulación.

La capacidad de acumulación del catalizador acumulador de NO_x depende mucho de la temperatura. Alcanza un máximo en el margen de 300-400°C, por tanto, el margen de temperatura favorable es muchísimo más bajo que el del catalizador de tres vías. Por esta razón, para la depuración catalítica de los gases de escape hay que utilizar dos catalizadores separados, un catalizador de tres vías como catalizador previo montado cerca del motor (figura 1, pos3) y un catalizador acumulador de NO_x (5) como catalizador principal montado lejos del motor.

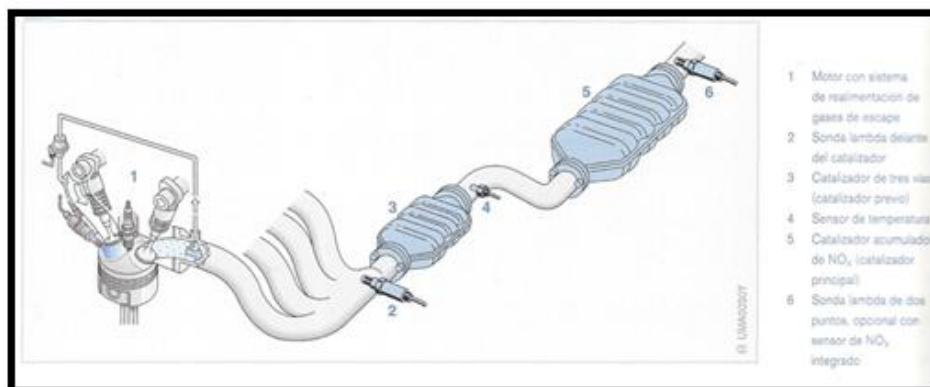


Figura 58. Sistema de escape con catalizador de tres vías como catalizador previo, catalizador acumulador de NO_x pospuesto y sondas lambda



El contenido de azufre en la gasolina constituye un problema para el catalizador acumulador. El azufre contenido en los gases de escape pobres reacciona con el óxido de bario (material de acumulación) convirtiéndose en sulfato de bario. La cantidad de material acumulador disponible para la acumulación de NO_x por tanto disminuye con el tiempo. El sulfato de bario es muy resistente a la temperatura y es desintegrado sólo en pequeña parte durante la regeneración de NO_x .

En caso de emplear combustible que contiene azufre, de tanto en tanto hay que efectuar una desulfuración. Para ello, mediante la aplicación de medidas apropiadas (ajuste del modo de funcionamiento de carga estratificada y calentamiento rápido del catalizador) se calienta el catalizador hasta $600\text{-}650^\circ\text{C}$ y luego se somete durante algunos minutos alternativamente a gases de escape ricos y pobres. Entonces el sulfato de bario se reduce nuevamente a óxido de bario.

5.2. DISPOSICIONES DE CATALIZADORES

Según sea su disposición, se aplican diferentes conceptos. Principalmente hay dos tipos de catalizadores que se diferencian básicamente por su tamaño:

- Precatalizadores, montados generalmente cerca del motor
- Catalizadores principales, que debido a su tamaño rara vez se montan cerca del motor, sino que se colocan en la parte inferior de la carrocería (catalizadores bajo el piso)

Son posibles todas las combinaciones de precatalizador y catalizador principal; en sistemas de dos bancos (generalmente en motores con seis o más cilindros) se montan por duplicado.

Un caso especial es la `disposición en y', que se utiliza principalmente en la inyección directa de gasolina con catalizadores acumuladores de NO_x . En este caso, cada tubería de escape tiene un precatalizador. Después de la concentración de ambas fases sigue un catalizador principal común.

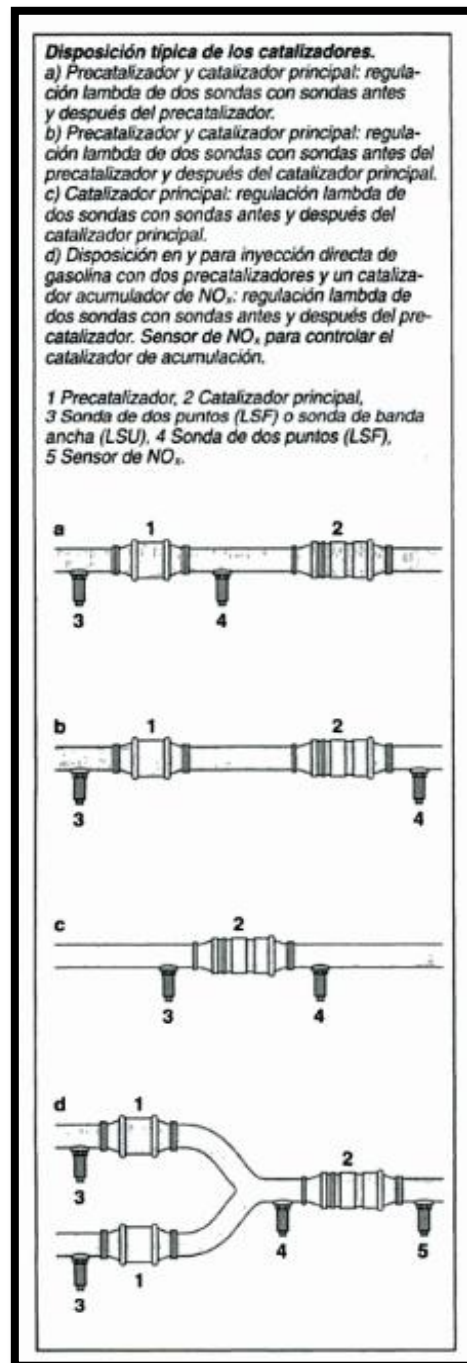


Figura 59. Disposición típica de los catalizadores

5.3. TRATAMIENTO POSTERIOR DE LOS GASES DE ESCAPE PARA $\lambda=1$

5.3.1. MOTOR FRÍO

La combustión de la mezcla aire-combustible nunca es completa. El combustible que no se ha quemado es conducido durante el tiempo de expulsión al sistema de gases de escape



y origina emisiones de HC y CO. Estas emisiones son elevadas especialmente con el motor frío, ya que el combustible se condensa en las paredes frías del cilindro y abandona la cámara de combustión sin haberse quemado.

Una circunstancia agravante es que el catalizador debe alcanzar una temperatura mínima antes de poder convertir los contaminantes. Por este motivo es muy importante minimizar las emisiones en bruto durante la fase de calentamiento antes del arranque de catalizador. Esto se consigue por ejemplo:

- Optimizando el arranque (tiempo de inyección y encendido)
- Insuflación de aire secundario

Por otro lado se necesitan unas medidas que preparen rápidamente el catalizador para su funcionamiento. Esto es posible mediante:

- Catalizadores cerca del motor
- Elevadas temperaturas de gases de escape por ángulo de encendido retardado y caudal másico de combustible grande
- Insuflación de aire secundario

Además, en algunos casos especiales se utiliza un catalizador calentado eléctricamente para conseguir cuanto antes la temperatura adecuada (Electric Heated Catalyst). Se están desarrollando asimismo ideas sobre la utilización de un quemador que funciona con combustible para calentar el catalizador.

5.3.2. MOTOR CALIENTE

En cuanto por motivos de estabilidad de marcha y temperatura es posible un funcionamiento de $\lambda=1$, puede ajustarse la mezcla de aire y combustible estequiométrica. Para esta razón de aire el catalizador de tres vías alcanza su máxima tasa de conversión para los contaminantes HC, CO y NO_x. La relación de aire y combustible sólo puede oscilar dentro del margen $\lambda=1\pm 0,005$ para que la elevada tasa de conversión pueda mantenerse. Esta precisión hace que sea necesaria una regulación de la mezcla (regulación lambda).

5.4. CIRCUITO DE REGULACIÓN LAMBDA

Con objeto de que en sistemas que trabajan sólo con un catalizador de tres vías la cuota de transformación sea lo más alta posible para los tres componentes contaminantes, éstos tienen que encontrarse en un equilibrio químico. Eso exige una composición de la mezcla en la relación estequiométrica de $\lambda=1$. La ventana de trabajo en la que ha de encontrarse la relación entre aire y combustible es por eso muy pequeña. La formación de la mezcla tiene que seguirse por consiguiente en un circuito de regulación lambda, un control de la dosificación de combustible no es suficiente.

Los motores de inyección directa de gasolina se hacen funcionar también con mezclas cuya composición difiere de la relación estequiométrica. También la formación de la mezcla de esos sistemas puede guiarse mediante una regulación.

Una sonda lambda (figura1, pos 3a) está dispuesta en el sistema de escape delante del catalizador (4 y 5). La señal de la sonda U_{sa} es conducida a la unidad de control del motor (7). Para este fin se puede emplear una sonda de dos puntos o una sonda de banda ancha.

Detrás del catalizador puede encontrarse otra sonda lambda (3b) (regulación con dos sondas). Esta sonda es siempre una sonda de dos puntos, la cual suministra la señal U_{sb} .

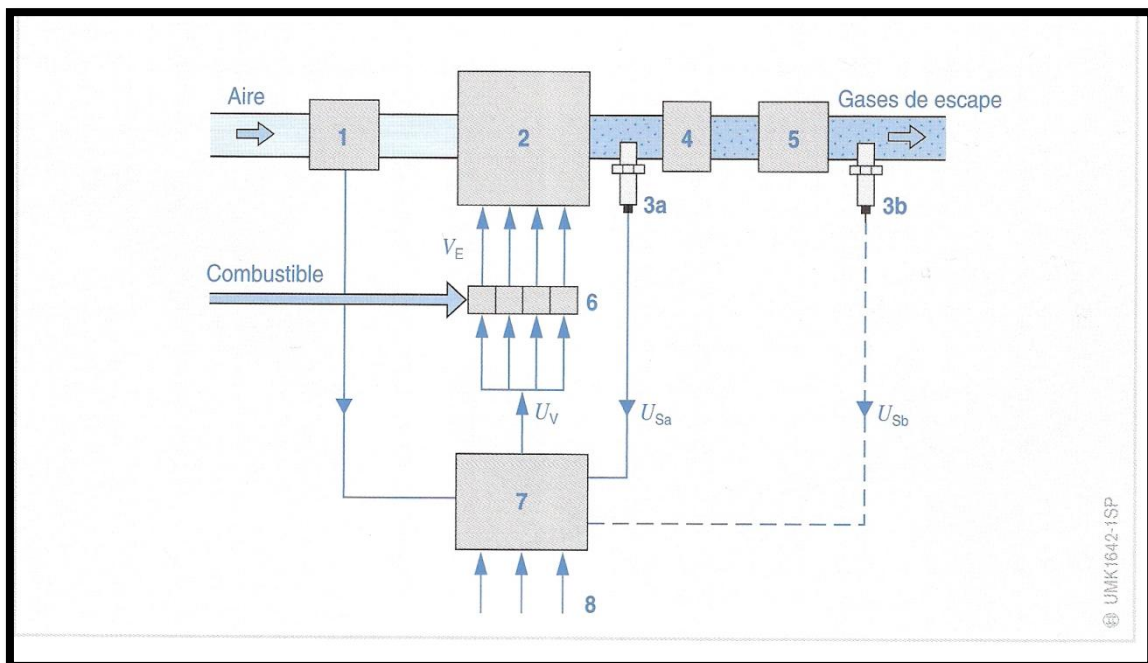


Figura 60. Esquema funcional de la regulación lambda



Mediante el circuito de regulación formado con ayuda de una o dos zonas lambda pueden identificarse y corregirse desviaciones de una relación de aire-combustible determinada. El principio de regulación se basa en la medición del contenido de oxígeno residual en los gases de escape. El contenido de oxígeno residual es una medida para la composición de la mezcla de aire y combustible aportada al motor (2).

5.4.1. REGULACIÓN LAMBDA DE DOS PUNTOS

La sonda lambda de dos puntos dispuesta delante del catalizador suministra en el margen rico ($\lambda < 1$) una tensión alta y en el margen pobre ($\lambda > 1$), una tensión baja U_{sa} . En el margen alrededor de $\lambda = 1$ se produce un pronunciado salto de tensión. La sonda lambda de dos puntos sólo puede distinguir pues, entre mezcla rica y pobre.

La tensión de sonda se transforma en la unidad de control del motor en una señal de dos puntos. Es la magnitud de entrada para la regulación lambda puesta en efecto con ayuda del software. La regulación lambda actúa en la formación de la mezcla y ajusta la relación de aire y combustible adaptando el caudal de combustible inyectado. La magnitud de ajuste, compuesta de un salto y una rampa, varía su dirección de ajuste con cada salto de tensión de la sonda. Es decir, por el salto de la magnitud de ajuste varía la composición de la mezcla primero “de golpe” y a continuación en forma de rampa. Si la tensión de la sonda es alta (mezcla rica), la magnitud de ajuste regula en dirección hacia mezcla pobre; si la tensión de la sonda es baja (mezcla pobre), en dirección hacia mezcla rica. Con esta regulación de dos puntos se puede regular la mezcla de aire y combustible a valores de lambda alrededor de $\lambda = 1$.

5.4.2. REGULACIÓN LAMBDA CONSTANTE

La sonda lambda de banda ancha suministra una señal de tensión constante U_{sa} . De este modo se puede medir no sólo el margen lambda (mezcla rica o pobre), sino también las desviaciones de $\lambda = 1$. La regulación lambda puede reaccionar así más rápidamente a una divergencia de la mezcla.

Como sea que con la sonda lambda de banda ancha de $\lambda = 1$ se pueden medir composiciones de la mezcla divergentes, también es posible (al contrario de la regulación de dos puntos) regular tales composiciones. El alcance de regulación comprende valores lambda dentro del margen de $\lambda = 0,7-3$. La regulación lambda constante por tanto es apropiada para el funcionamiento con mezclas pobres o ricas de motores de inyección directa de gasolina.



5.4.3. REGULACIÓN CON DOS SONDAS

La regulación lambda con la sonda delante del catalizador tiene una precisión limitada, ya que la sonda está expuesta a notables influencias medioambientales. La exposición de una sonda lambda (3b) detrás del catalizador a estas influencias es considerablemente menor.

Una regulación lambda con la sonda detrás del catalizador sólo sería, sin embargo, demasiado lenta a causa de los largos tiempos de recorrido de los gases. El principio de la regulación con dos sondas se basa en que el desplazamiento controlado hacia mezcla rica o pobre propio de la regulación delante del catalizador es modificado de modo aditivo por un bucle “lento” de regulación correctora.

5.4.4. REGULACIÓN LAMBDA EN LA INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA

El catalizador acumulador de NO_x presenta una doble función. Además de la acumulación de NO_x y de la oxidación de HC y CO durante el funcionamiento con mezcla pobre, para el funcionamiento con $\lambda=1$ es necesaria una función estable de tres vías, que requiere un mínimo de capacidad de acumulación de oxígeno. La sonda lambda delante del catalizador vigila la composición estequiométrica de la mezcla.

Además de su aportación a la regulación con dos sondas, la sonda de dos puntos detrás del catalizador acumulador de NO_x con el sensor de NO_x integrado sirve para la vigilancia del comportamiento combinado de acumulación de O_2 y NO_x (identificación del fin de la fase de desacumulación de NO_x).

5.4.5. REGULACIÓN DE TRES SONDAS

Tanto desde el punto de vista del diagnóstico del catalizador como desde la constancia de los gases de escape en vehículos SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) es necesaria la aplicación de una tercera sonda detrás del catalizador principal. El sistema de regulación de dos sondas (cascada simple) se ha visto ampliado mediante una regulación extremadamente lenta con la tercera sonda detrás del catalizador principal (bajo el suelo).

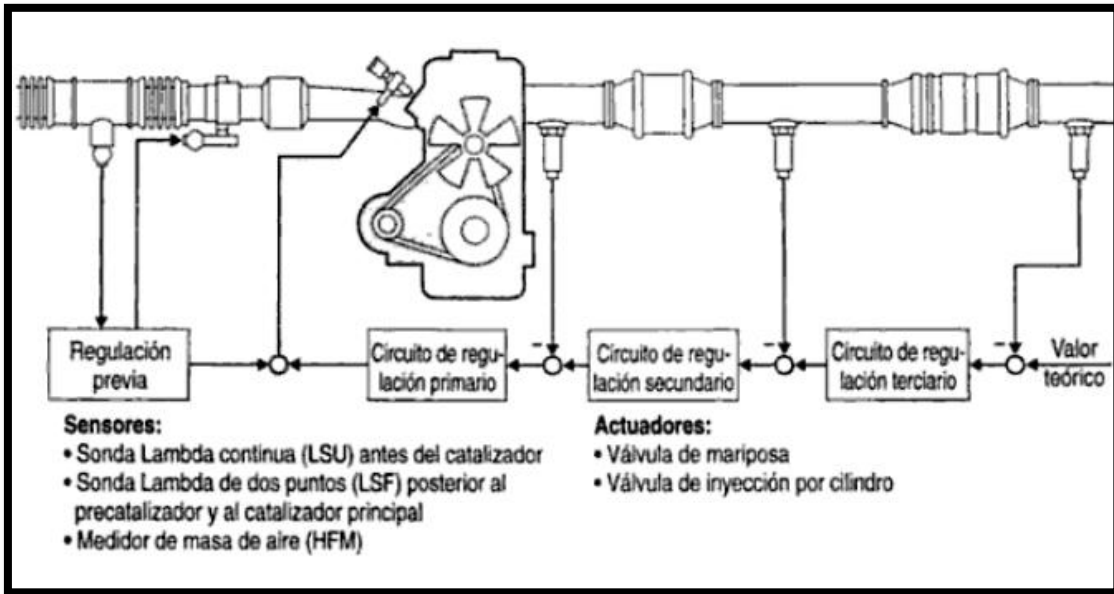


Figura 61. Regulación lambda con cascada de regulación para regulación de tres sondas

5.4.6. REGULACIÓN DEL CILINDRO INDIVIDUAL

En precatalizadores cerca del motor no puede garantizarse que los gases de escape de cada cilindro se mezclen lo suficiente antes de que vayan a parar al catalizador. Los segmentos del catalizador por los que fluyen estos gases muestran una conversión insuficiente en función de la desviación de $\lambda=1$ del cilindro. La coordinación lambda de cada cilindro puede llevar en este caso una mejora sustancial de los gases de escape. Para el planteamiento del problema de la obtención de valores lambda de cada cilindro a partir de una señal lambda medida debe ajustarse una demanda dinámica extremadamente alta a la sonda lambda.

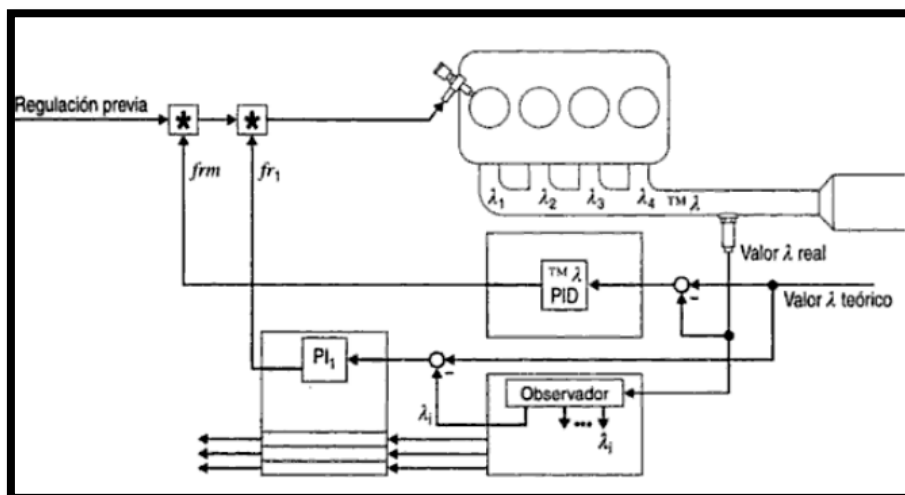


Figura 62. Estructura básica de la regulación lambda para cilindros individuales



Capítulo 6

PROCESAMIENTO DE DATOS Y REDES DE COMUNICACIÓN EN EL VEHÍCULO

Los requisitos que tienen que cumplir los numerosos subsistemas específicos de un vehículo en cuanto al funcionamiento, la seguridad, el respeto al medio ambiente y el confort sólo se pueden garantizar con la ayuda de sistemas de control y regulación sofisticados.

Las magnitudes de referencia y regulación registradas por los sensores son traducidas por la unidad de control en las señales necesarias para la activación de los actuadores. Las señales de entrada pueden ser analógicas (por ejemplo, curva de tensión en el sensor de presión) o en forma de impulsos (es decir, contenidos informativos en intervalos, por ejemplo, señal de número de revoluciones).

El procesamiento de estas señales de entrada se lleva a cabo, tras el correspondiente tratamiento (filtrado, amplificación, formación de impulsos) y la respectiva conversión (analógico/digital), preferentemente con métodos propios del procesamiento digital de señales.

Con la tecnología moderna de los semiconductores se pueden integrar en pocos módulos ordenadores potentes con la correspondiente memoria de programa y datos, además de circuitos periféricos especiales concebidos para las aplicaciones en tiempo real.

Los equipamientos modernos de los vehículos están compuestos por entre 20 y 60 unidades de control electrónicas, por ejemplo, para la regulación del motor o el sistema antibloqueo (ABS). Las propiedades favorables y las funciones adicionales son factibles gracias



a que cada uno de los procesos supervisados por las unidades de control se sincronizan y sus parámetros se armonizan permanentemente, es decir, en tiempo real. Un ejemplo de una de estas funciones es la regulación del deslizamiento en la tracción (ASR), que reducen el par motor en las ruedas motrices en caso de que patinen.

El intercambio de información entre las unidades de control (en el ejemplo ABS/ASR y regulación del motor) tenía lugar originalmente por medio de cables individuales, sin embargo, este tipo de conexiones punto a punto sólo puede aplicarse con éxito para un número limitado de señales. La introducción de redes de comunicación para la transmisión serial de información y datos entre las unidades de control aplicables al automóvil amplía las posibilidades de transmisión y representa el perfeccionamiento lógico de microordenadores autárquicos en el vehículo.

6.1. ENGINE MAPPING

El control del motor en la mayoría de los motores supone la regulación de la mezcla de aire-combustible así como los tiempos de encendido con el objetivo de alcanzar los valores deseados tanto de potencia como de par proporcionados por el motor.

Hasta los años sesenta, dicho control se realizaba gracias a una combinación de sistemas mecánicos, neumáticos e hidráulicos. Posteriormente, a partir de los setenta, los sistemas de control electrónico sustituyeron a los anteriormente usados.

Las limitaciones en las emisiones de los gases de escape comenzaron en EE.UU en 1966 cuando las regulaciones del estado de California se hicieron efectivas. Los productores de vehículos asumieron que el control tradicional no resultaba suficiente para alcanzar los límites impuestos en las emisiones a la vez que mantener las prestaciones proporcionadas por los motores, por lo que apostaron por el control electrónico.

Además del control de las emisiones nocivas, el control electrónico del funcionamiento del motor en EE.UU vino dado por la búsqueda de una mejora en la economía de combustible, requerimiento que en la industria automovilística es conocido a través del acrónimo CAFE (Corporate Average Fuel Economy).

El uso del control a través de la electrónica digital ha permitido a los fabricantes a cumplir las especificaciones impuestas controlando la precisión del sistema. Debido al uso de

microordenadores, el comportamiento puede ser modificado a través de programar cambios con el fin de encontrar diferentes combinaciones de vehículo-motor. Valores críticos que describen el funcionamiento del motor pueden ser fácilmente modificados con el cambio de los datos almacenados en el sistema de memoria del ordenador.

Un sistema de control electrónico del motor es un conjunto de componentes electrónicos y electromecánicos que continuamente adecúan la entrada de combustible y los parámetros de encendido con la finalidad de alcanzar los límites de gases de escape y economía de combustible requeridas. La figura 63 representa un diagrama generalizado de sistema de control.

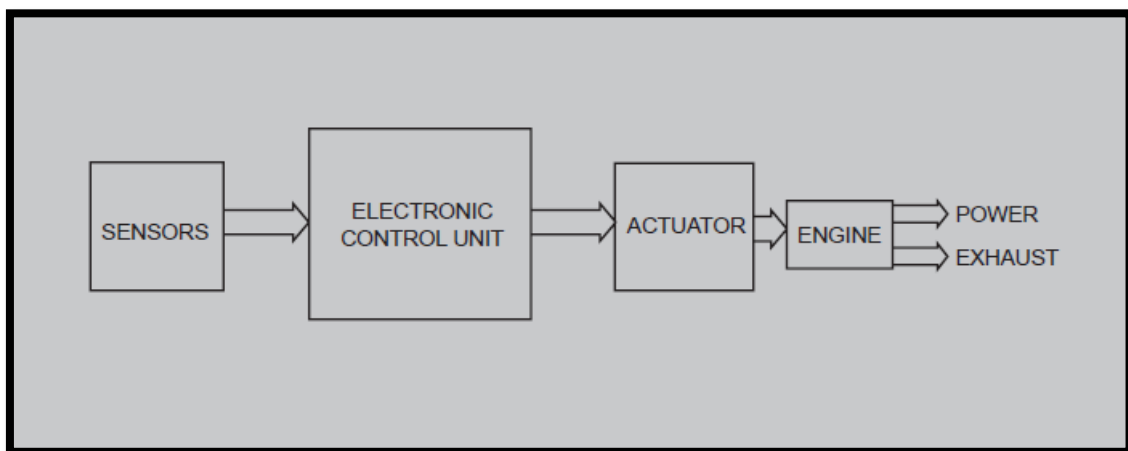


Figura 63. Diagrama generalizado de un sistema de control

La figura 64 identifica las funciones que circundan al motor. Encontramos un medidor de combustible para adecuar la mezcla de aire-combustible entrante al motor a través del colector de admisión. El control del ángulo de encendido determina cuando se proporciona la chispa tras la compresión en los cilindros del motor. La potencia es entregada a través del eje de transmisión y los gases de escape fluyen a través del sistema de escape. En dicho sistema podemos encontrar diversos elementos, como la válvula que controla la cantidad de gases empleados en el sistema de recirculación de gases o un catalizador para optimizar las emisiones nocivas.

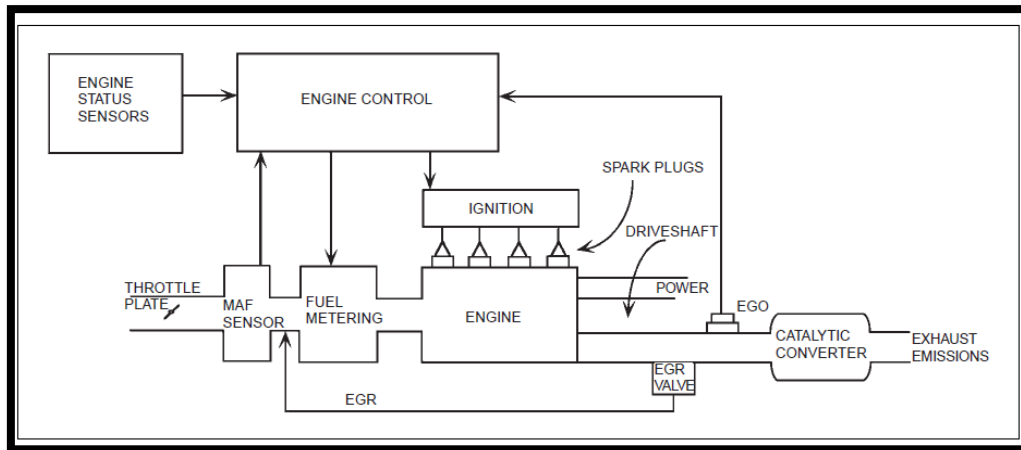


Figura 64. Funciones características que circundan al motor

La figura 65 identifica la mayor parte de los parámetros físicos que son medidos con la finalidad de aportar variables de entrada a nuestro sistema de control.

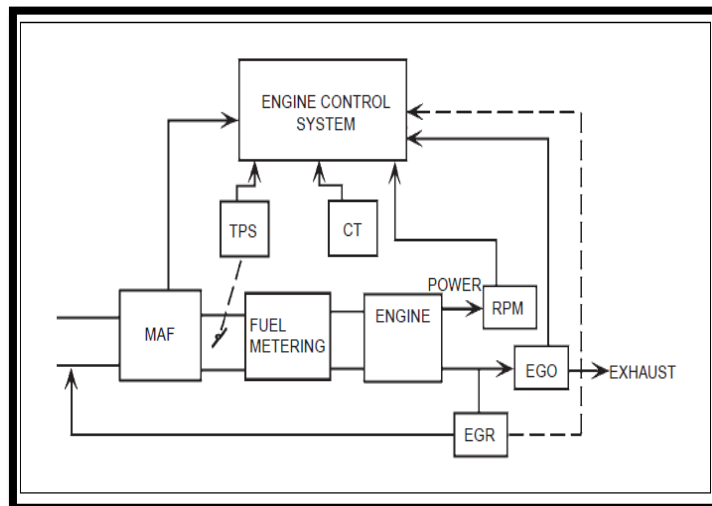


Figura 65. Parámetros físicos medidos en el funcionamiento del motor

- Sensor de posición del acelerador (TPS)
- Caudal másico de aire (MAF)
- Temperatura del motor (CT)
- Revoluciones del motor y posición angular (RPM)
- Recirculación de los gases de escape (EGR)
- Sensor de oxígeno (EGO)

Los valores de salida que proporcionan los controladores son:

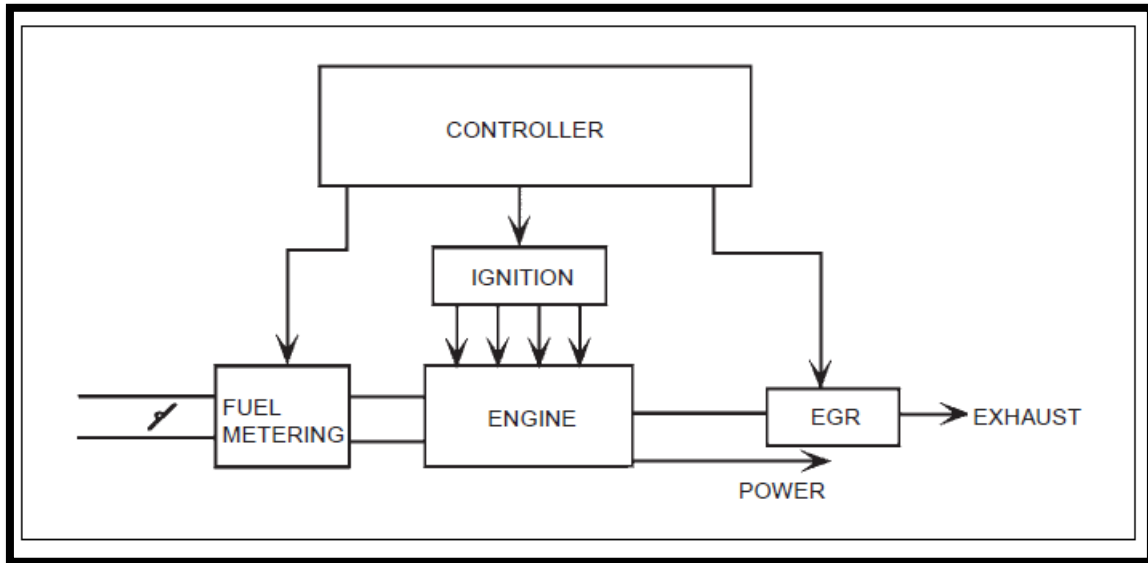


Figura 66. Valores de salida característicos del sistema de control

- Control de entrada de combustible
- Control de ignición
- Tiempo de encendido
- Control de recirculación de gases de escape

En el caso de motores automovilísticos, el control de motor proviene de un proceso conocido como mapeado del motor.

Para realizar dicho proceso, el motor está conectado a diversos aparatos de medición mientras que se hace funcionar a diferentes regímenes. Las medidas de las variables controladas se llevan a cabo al mismo tiempo que se varían diferentes parámetros, tales como la proporción de aire-combustible, de manera sistemática y controlada.

De este mapeado del motor se desarrolla un modelo matemático que recoge todas las variables de influencia. El diseño del sistema de control debe reflejar todas las configuraciones posibles así como las variables de control para alcanzar las restricciones impuestas en los límites de emisiones o consumo, además de armonizarse con otros límites reales de diseño como costes o calidad.

Una función crítica de la unidad central de control es el mantener la correcta proporción entre el aire y el combustible. Dicha proporción se lleva a cabo gracias al uso de un sistema de inyección de combustible.

La inyección de combustible presenta diversas ventajas frente a la carburación como pueden ser una distribución de mayor homogeneidad en cada cilindro, menores emisiones contaminantes, mejor respuesta ante transitorios de entrega de potencia del motor y sobre todo una mayor eficiencia tanto del motor como del combustible empleado.

Para que dicho sistema de alimentación de combustible funcione adecuadamente el motor el vehículo se encuentra controlado a través de diferentes sensores que proporcionan información de la situación del motor a la unidad de control. Gracias a dicho valores el microcomputador estructura los parámetros de funcionamiento del motor, como son el ángulo de avance al encendido o la cantidad de combustible inyectada a los cilindros, ayudándose de una serie de mapas de funcionamiento almacenados en memoria.

Los mapas del motor son registros bidimensionales y/o tridimensionales de los parámetros funcionales de éste. Estos mapas pueden construirse para las variables de interés si se dispone de un sistema de adquisición de datos y por supuesto de un motor instrumentado adecuadamente. Es de aclarar que cuando se habla de grabar alguna cartografía específica en la memoria de una microcomputadora, se está hablando de grabar las coordenadas de la cartografía como matrices. Esta herramienta ha sido empleada abiertamente en la mayoría de sistemas controlados que dependen de un gran número de entradas y cálculos para determinar el valor de la salida en sus actuadores.

	MAP [inHg]									
RPM	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	23
1000	7,7	7,7	7,7	5,9	4,1	3,3	2,7	2,1	1,6	0,4
2000	7,7	6,7	5,7	5,0	4,3	3,4	2,8	2,1	1,6	0,6
3000	8,1	7,1	6,1	5,3	4,5	3,6	3,1	2,3	1,6	0,6
4000	8,1	6,3	4,5	3,9	3,3	2,6	2,2	1,6	1,1	0,4
6000	8,1	6,3	4,5	3,8	3,1	2,5	1,9	1,4	1,0	0,3

Figura 67. Tabla representativa de la cartografía de control de un motor

La tabla anterior con su correspondiente representación tridimensional (figura 68), son un ejemplo de las cartografías grabadas en la memoria de uno de los microcontroladores. Esta información ha sido puesta a prueba en módulos y automóviles reales por medio de diferentes microcontroladores, mejorando significativamente su desempeño. En la actualidad, gracias a la

aparición de microcontroladores que integran mayor capacidad de almacenamiento, mayor velocidad de procesamiento y manejo de valores de datos de hasta 16, 32 o 64 bits, la tendencia es emplear rutinas de control basadas en modelos matemáticos que relacionen las diferentes variables medidas.

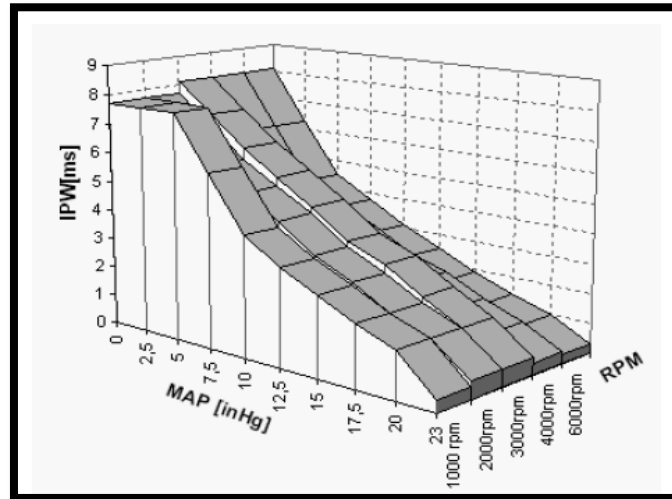


Figura 68. Representación de los valores recogidos en la figura 67

Un ejemplo de cartografía de la unidad electrónica de control es el ángulo de avance al encendido. El avance del encendido adecuado para cada situación lo determina en este caso también la UEC (unidad electrónica de control). En ella se guardan todas las variables determinantes de las posibles situaciones que puedan darse durante el funcionamiento, las cuales han sido ensayadas con antelación en fábrica, y es la UEC la encargada de elegir el avance más oportuno en virtud de ellas. La elección la hace atendiendo a diversos parámetros como la carga y el régimen (constituyendo ello la cartografía guardada en memoria) y el estado de funcionamiento, y realizando además correcciones dependiendo de la temperatura del motor, temperatura del aire de admisión o la posición de la mariposa.

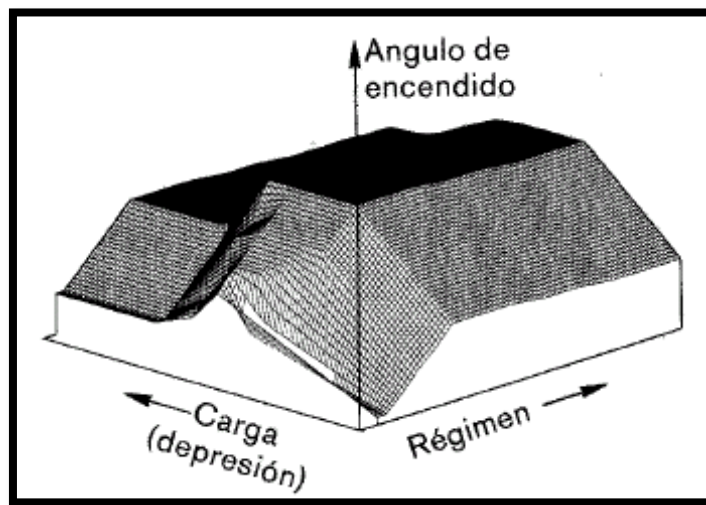


Figura 69. Campo característico de encendido de un motor

6.2. SISTEMAS DE CONTROL DE LLENADO

En el motor de gasolina de funcionamiento con mezcla homogénea, la masa de aire aportada es la magnitud decisiva para el par motor entregado, y por tanto, para la potencia. Por eso, además de la dosificación de combustible les corresponde especial importancia también a los sistemas que influyen en el llenado de los cilindros.

Para la combustión del combustible se necesita oxígeno, que el motor sustrae del aire aspirado. En los motores con formación externa de la mezcla (inyección en el tubo de admisión) y también en los motores de inyección directa de gasolina en funcionamiento con mezcla homogénea, con una relación de $\lambda=1$, el par motor está directamente en función de la masa de aire aportada. La mariposa, que se encuentra en el tramo de admisión, controla el flujo de aire aspirado por el motor y, por tanto, el llenado de los cilindros.

6.2.1. SISTEMAS CONVENCIONALES

En los sistemas convencionales (figura 70), la mariposa es accionada mecánicamente. Un cable de tracción o un varillaje transmite el movimiento del acelerador a la mariposa. El ángulo variable de ajuste de la mariposa influye en la sección de abertura del conducto de admisión y controla así el flujo de aire aspirado por el motor y con ello el par motor entregado.

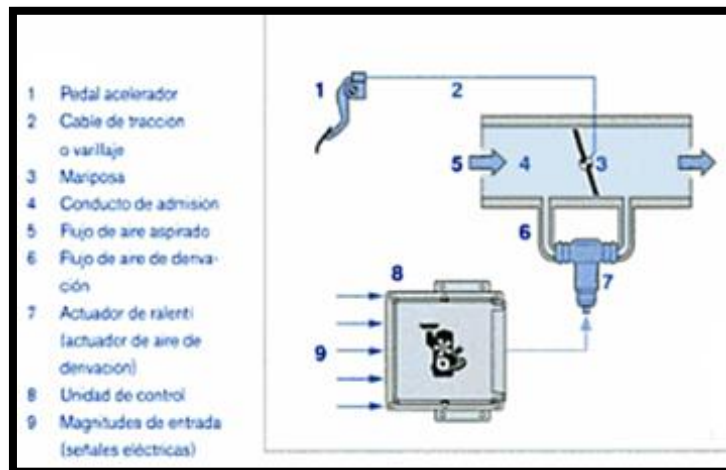


Figura 70. Principio de control del aire en sistemas convencionales mediante una mariposa de regulación mecánica

Cuando está frío, el motor requiere una mayor cantidad de aire y una mayor cantidad de combustible, para compensar el momento de fricción incrementado. También al conectar, por ejemplo, un compresor de aire acondicionado se requiere más aire aspirado para compensar la pérdida de par. Estas informaciones se transmiten a la unidad de control como señales eléctricas. La necesidad de aire adicional se cubre mediante un actuador de aire de derivación que hace pasar un corriente de aire de derivación por delante de la mariposa, o mediante un actuador de mariposa que modifica el tope mínimo de ésta. En ambos casos, sin embargo, en la corriente de aire requerida por el motor sólo se puede influir electrónicamente en una extensión limitada, como por ejemplo para una regulación de ralentí.

6.2.2. SISTEMAS CON EGAS

En el control electrónico de la potencia del motor (EGAS), una unidad de control electrónica se hace cargo de la activación de la mariposa. Ésta está reunida con el accionamiento de la mariposa (un motor de corriente continua) y el sensor del ángulo de la mariposa. Para activar el dispositivo de mariposa se detecta la posición del acelerador con ayuda de dos potenciómetros de movimiento opuesto (sensor de pedal del acelerador). La apertura de la mariposa requerida para el deseo del conductor la calcula entonces la unidad de control del motor tomando en cuenta el estado actual de funcionamiento del motor y la transforma en señales de activación para el accionamiento de la mariposa.

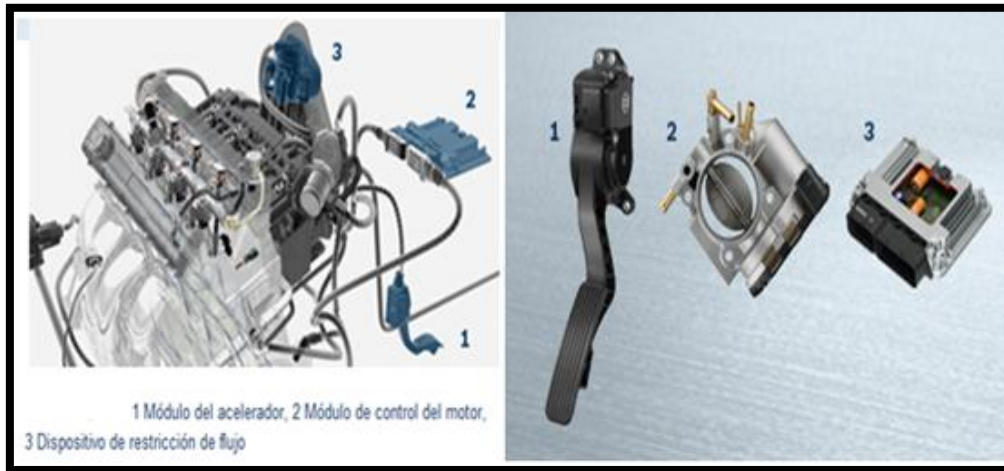


Figura 71. Componentes característicos de un sistema EGAS

El sensor de ángulo de la mariposa suministra una confirmación de la posición actual de la mariposa y hace posible así el cumplimiento exacto de la posición deseada de la mariposa.

Los potenciómetros existentes en doble ejecución por motivos de redundancia en el pedal acelerador y en el dispositivo de mariposa son parte integrante del concepto de supervisión EGAS. Para el caso de que se detecten anomalías en la parte del sistema que determina la potencia, la mariposa inmediatamente toma una posición fijada (funcionamiento de emergencia).

En sistemas actuales de gestión del motor, la activación EGAS ha sido integrada en la unidad de control del motor, que regula el encendido, la inyección y otras funciones adicionales. Se ha suprimido la unidad de control EGAS especial.

Con el EGAS es posible una mejor composición de la mezcla, pudiéndose cumplir las exigencias cada vez más severas de la legislación relativa a los gases de escape.



Capítulo 7

TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE

El volumen de tráfico en crecimiento permanente y su impacto ambiental, especialmente por el tránsito dentro de las ciudades, se han convertido en un problema. Por esta razón, se ha hecho necesario limitar las emisiones de gases de los automóviles. Los legisladores fijan los valores límite tolerables y los procedimientos de ensayo. Cada tipo de vehículo autorizado por primera vez para matriculación debe cumplir estas prescripciones legales.

El estado de California de los EE.UU. fue uno de los primeros en esforzarse a limitar por ley las emisiones de sustancias nocivas producidas por los automóviles. La razón para ello es que en las grandes ciudades como Los Ángeles, debido a la situación geográfica, los gases de escape no son alejados por el viento sino que quedan suspendidos sobre la ciudad como una campana de humo. La formación de esta niebla contaminante no sólo tenía efecto negativo sobre la salud de la población, sino que también entorpecía muchísimo la visibilidad.

Desde la entrada en vigor de la primera legislación sobre gases de escape para motores Otto a mediados de la década de los sesenta en California, se han ido reduciendo cada vez más los valores límite tolerados para los diferentes componentes nocivos. Entretanto, todos los países industrializados han introducido leyes de gases de escape que fijan los valores admisibles para motores Otto y Diesel, así como los métodos de ensayo.



Después de los EE.UU., los estados de la UE y Japón desarrollaron procedimientos de ensayo propios para la certificación de gases de escape para automóviles. Otros países tomaron estos procedimientos de manera idéntica o introdujeron modificaciones. Según la clase de vehículo y el propósito de la comprobación, se aplican tres procedimientos de ensayo fijados por legislación:

- Ensayo de tipo para obtener el permiso general de circulación.
- Ensayos en serie como control aleatorio de la fabricación en curso por parte de la autoridad receptora.
- Vigilancia en campo para la verificación de ciertos componentes de los gases de escape de vehículos que se encuentran en servicio.

7.1. COMPROBACIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE EN BANCOS DE ENSAYOS CON RODILLOS

La comprobación de los gases de escape en bancos de ensayo con rodillos sirve, por una parte, para el ensayo de tipo para obtener el permiso general de circulación y, por otra parte, para el desarrollo de componentes de motores. Con ello, se diferencia de las comprobaciones de los gases de escape que, en el marco de la vigilancia en campo, se llevan a cabo con aparatos de medición de taller.

La comprobación de los gases de escape en bancos de ensayos con rodillos están definidos de tal manera que se simula en gran medida la marcha normal en la calle o carretera. La medición en un banco de pruebas con rodillos ofrece las siguientes ventajas:

- Alta reproducibilidad de los resultados, ya que las condiciones del entorno pueden mantenerse constantes
- Buena comparabilidad de los ensayos, ya que se puede ejecutar un perfil de velocidad-tiempo independientemente del flujo del tráfico
- La técnica de medición necesaria se puede montar estacionariamente

El vehículo que se va a someter a ensayo se pone con las ruedas motrices sobre rodillos giratorios. Para que en la marcha simulada en el banco de pruebas se generen emisiones comparables con las de las de marcha en carretera, deben simularse las fuerzas que

actúan sobre el vehículo: las fuerzas de inercia del vehículo, la resistencia al rodamiento y la resistencia al aire.

Para ello, máquinas asíncronas, de corriente continua o frenos de corriente parásita (en bancos de pruebas antiguos) producen una carga adecuada dependiente de la velocidad, que actúa sobre los rodillos y debe ser superada por el vehículo. Para simular la inercia, en los nuevos equipos se utiliza una simulación eléctrica de un volante de inercia. Los bancos de pruebas antiguos utilizan volantes de inercia reales de diferentes tamaños, que se pueden conectar con los rodillos mediante acoples rápidos, simulando así la masa del vehículo. Un ventilador colocado a corta distancia del vehículo garantiza la refrigeración necesaria del motor.

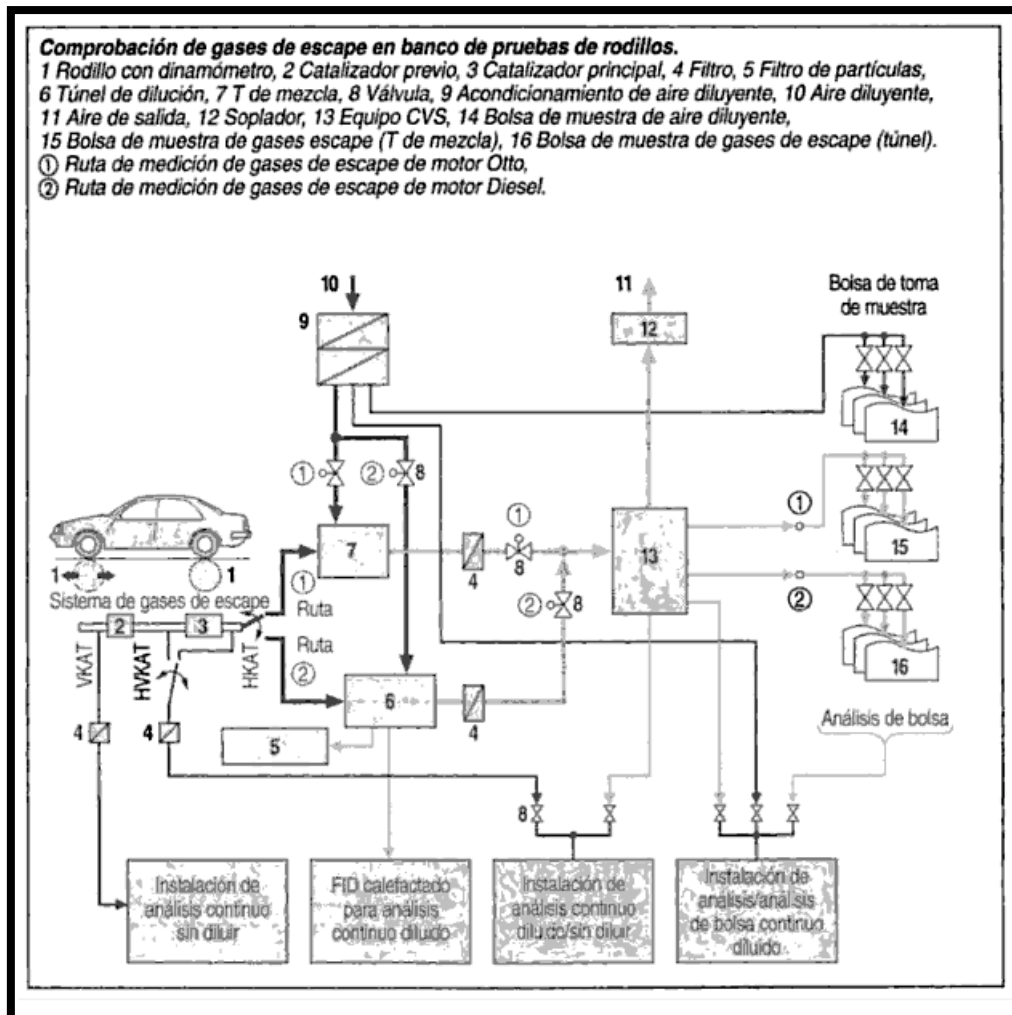


Figura 72. Comprobación de los gases de escape en un banco de pruebas de rodillos

El tubo de escape del vehículo en ensayo está conectado, en general de manera estanca para gases, al sistema recolector de gases de escape. Allí se recoge una parte de los



gases de escape y, después del ensayo de marcha, se analizan en relación a los componentes en sustancias nocivas (hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono), así como al dióxido de carbono (para determinar el consumo de combustible).

Adicionalmente y para fines de desarrollo se puede recoger de manera continua una parte de los gases de escape y analizarla para determinar las concentraciones de sustancias nocivas.

7.2. SISTEMA DE DILUCIÓN

El método más difundido para la recolección de los gases de escape emitidos por un motor es el procedimiento de la dilución CVS (Constant Volume Sampling). Se introdujo por primera vez en 1972 en los EE.UU. para turismos y vehículos industriales ligeros y se ha mejorado en varias etapas. El procedimiento CVS se emplea, entre otros países, en Japón y, desde 1982, también en Europa, lo que lo convierte en un procedimiento de recolección de gases de escape reconocido a nivel mundial.

El procedimiento CVS se basa en el siguiente principio: Los gases de escape emitidos por el vehículo de ensayo se diluyen con el aire ambiente en una relación media de 1:5 a 1:10 y se aspiran, mediante un ordenamiento especial de bombas, de tal manera que el flujo volumétrico total de los gases de escape y el aire diluyente sea constante. La adición de aire diluyente depende, entonces, del volumen momentáneo de los gases de escape. Del caudal diluido de gases de escape se toma continuamente una muestra representativa, que se almacena en una o varias bolsas (gases de escape).

El flujo volumétrico de la toma de muestra es constante dentro de una fase de llenado de una bolsa; por lo tanto, la concentración de sustancias nocivas en una bolsa después del llenado corresponde al valor promedio de las concentraciones de los gases de escape durante el tiempo de llenado de la bolsa.

Para tener en cuenta las concentraciones de sustancias nocivas contenidas en el aire diluyente, se toma, paralelamente al llenado de la bolsa de gases de escape, una muestra del aire diluyente y se almacena en una o varias bolsas de aire.

El llenado de las bolsas corresponde, en general, a las fases o ciclos parciales en los que se dividen los ciclos de ensayo, por ejemplo la fase ht en el ciclo de ensayo FTP75.



A partir del volumen total de los gases de escape diluidos y las concentraciones de sustancias nocivas en las bolsas de gases de escape y de aire, se calcula la masa de sustancias nocivas emitida durante el ensayo.

Como las emisiones de contaminantes se redujeron bastante en los últimos años debido a unos límites de emisión más severos, las concentraciones de algunas sustancias nocivas (especialmente compuestos de hidrocarburos) en determinadas fases del ensayo en los gases de escape son comparables con las concentraciones en el aire diluyente. Esto es problemático para la medición, ya que lo determinante para la emisión de contaminantes es la diferencia entre los dos valores. Otro problema es la precisión de la medición de los aparatos usados para el análisis de sustancias nocivas.

Para contrarrestar estos problemas, en los bancos de ensayos con rodillos de los nuevos equipos de dilución CVS se toman, generalmente, las siguientes medidas:

- Reducción de la dilución; esto exige medidas contra la condensación del agua, por ejemplo secado o bien calentamiento del aire diluyente.
- Disminución y estabilización de las concentraciones de sustancias nocivas en el aire diluyente, por ejemplo, mediante filtros de carbón activo.
- Optimización de los aparatos de medición empleados, por ejemplo mediante selección o tratamiento previo de los materiales empleados y superestructuras y uso de componentes electrónicos adaptados.
- Optimización de los procesos, por ejemplo con procedimientos especiales de lavado.

7.3. APARATOS DE MEDICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE

La legislación sobre gases de escape define, para las sustancias nocivas limitadas, procedimientos de medición uniformes en todo el mundo para la determinación de las concentraciones en las bolsas de gases de escape y de aire.

Componentes	Procedimiento
CO, CO ₂	Analizador no dispersivo infrarrojo (NDIR)
Óxidos de nitrógeno NO _x	Detector de quimioluminiscencia (CLD). Nota: NO _x se interpreta como suma de NO y NO ₂
Total de hidrocarburos (THC)	Detector de ionización de llamas (FID)
CH ₄	Combinación de procedimiento cromatográfico de gases y detector de ionización de llamas (GC-FID)
CH ₃ OH, CH ₂ O	Combinación de proceso de cartucho y técnicas de análisis cromatográficas; necesaria en EE.UU. cuando se emplean determinados combustibles

Figura 73. Elementos de medición de gases contaminantes

En muchos bancos de pruebas y con fines de desarrollo se realiza también la determinación continua de las concentraciones de sustancias nocivas en el sistema de gases de escape del vehículo o en el sistema de dilución, tanto para los componentes limitados como para otros no limitados. Para esto se emplean procedimientos de medición, además de los mencionados en la figura anterior, como:

- Procedimiento paramagnético (determinación de la concentración de O₂)
- Cutter-FID : Combinación de un detector de ionización de llama con un absorbedor de hidrocarburos sin contenido de metano (determinación de la concentración de CH₄)
- Espectroscopía de masas (analizador multicomponentes)
- Espectroscopía FTIR (Fourier Transform Infrared)(analizador multicomponentes)
- Espectrómetro láser IR (analizador multicomponentes)

A continuación se explica el modo de funcionamiento de los aparatos de medición más importantes.

7.3.1. ANALIZADOR NDIR

El analizador NDIR (Non Dispersive Infrared) aprovecha la propiedad de ciertos gases de absorber radiación infrarroja en un rango estrecho de longitudes de onda. La radiación absorbida se transforma en energía de vibración o rotación de las moléculas absorbentes, la cual, a su vez, se puede medir como calor. El fenómeno descrito se presenta en moléculas formadas por átomos de, por lo menos, dos elementos diferentes como son el CO, CO₂, C₆H₁₄ o SO₂.

Existen diferentes variantes de analizadores NDIR; los componentes esenciales son una fuente de luz infrarroja, una celda de absorción (cubeta) a través de la cual se conduce el gas de muestra, una celda de referencia por lo general ubicada paralelamente (llena de gas inerte como el N₂), un disco interruptor y un detector.

El detector está formado por dos cámaras, comunicadas por un diafragma, que contienen muestras de los componentes de gas a analizar. En una cámara se absorbe la radiación de la celda de referencia y en la otra la de la cubeta que, en caso dado, ya ha sido reducida por absorción en el gas de muestra. La diferencia de energía de radiación produce un movimiento de flujo, que mide un sensor de flujo o presión. El disco interruptor rotatorio interrumpe de manera cíclica la radiación infrarroja, lo que produce el redireccionamiento del movimiento del flujo y con ello, la modulación de la señal del sensor.

Debe tenerse en cuenta que los analizadores NDIR tienen una gran sensibilidad transversal al vapor de agua del gas de muestra, ya que las moléculas de H₂O absorben radiación infrarroja sobre un rango mayor de longitudes de onda. Por esta razón en las mediciones de gases de escape sin diluir, los analizadores NDIR se instalan después de un preparador del gas de muestra que se encarga de la deshidratación de los gases de escape.

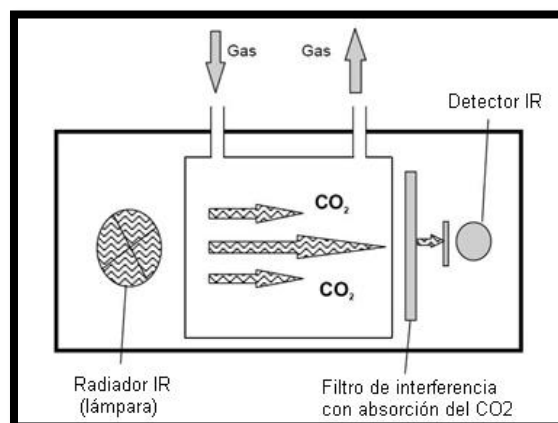


Figura 74. Esquema de analizador NDIR

7.3.2. DETECTOR DE QUIMIOLUMINISCENCIA (CLD)

El gas de muestra se mezcla en una cámara de reacción con ozono, generado a partir de oxígeno en una descarga de alta tensión. El monóxido de nitrógeno contenido en el gas de muestra se oxida en este ambiente, produciendo dióxido de nitrógeno; parte de las moléculas en formación se encuentran en el estado excitado. La energía liberada durante el regreso de estas moléculas al estado básico se emite en forma de luz (quimioluminiscencia). Un detector mide la cantidad de luz emitida, la cual, en condiciones definidas, es proporcional a la concentración de monóxido de nitrógeno en el gas de muestra.

Como la legislación reglamenta la emisión suma de óxidos de nitrógeno, es necesario registrar las moléculas de NO y NO₂. Sin embargo, ya que el CLD por su principio de medición está limitado a la determinación de la concentración de NO, el gas de muestra se hace pasar por un convertidor que reduce el dióxido de nitrógeno a monóxido de nitrógeno.

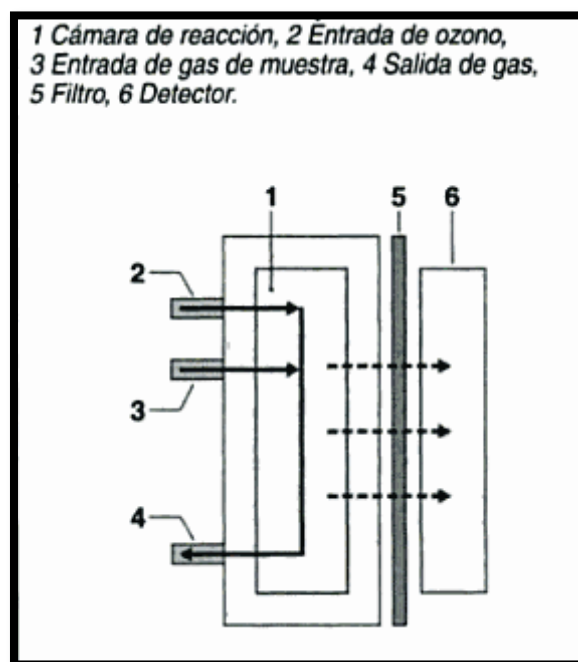


Figura 75. Estructura del detector quimioluminiscente

7.3.3. DETECTOR DE IONIZACIÓN DE LLAMAS (FID)

El gas de muestra se quema en una llama de hidrógeno. De este modo se produce la formación de radicales de hidrógeno y la ionización temporal de una parte de estos radicales. Los radicales se descargan en un electrodo colectivo. Se mide la corriente generada, que es proporcional al número de átomos de carbono al gas de muestra.

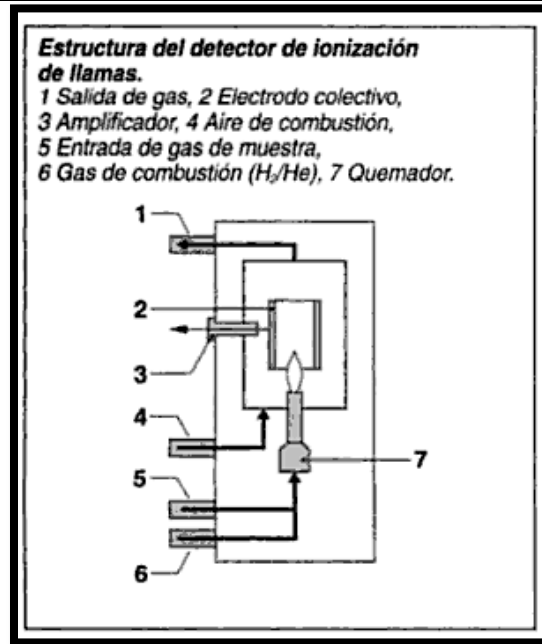


Figura 76. Estructura del detector de ionización de llamas

7.3.4. GC-FID y Cutter-FID

Para la determinación de la concentración de metano en el gas de muestra, existen dos procedimientos igualmente extendidos que consisten en la combinación de un elemento separador del CH₄ y un detector de ionización de llama. Para la separación de metano se emplea, ya sea una columna de cromatógrafo en fase gaseosa (GC-FID), ya sea un catalizador calentado que oxida los hidrocarburos sin CH₄ (Cutter-FID).

El GC-FID puede determinar, a diferencia del Cutter-FID, las concentraciones de CH₄ solamente de manera discontinua (intervalo típico entre dos mediciones: 30 a 45 segundos).

7.3.5. DETECTOR PARAMAGNÉTICO (PMD)

Los detectores paramagnéticos presentan diferentes formas constructivas (según el fabricante). Se basan en el fenómeno por el que, sobre las moléculas con propiedades paramagnéticas como puede ser el oxígeno, en campos magnéticos no homogéneos, actúan fuerzas que producen un movimiento molecular. Este movimiento es registrado por un detector adecuado y es proporcional a la concentración de las moléculas en el gas de muestra.



Capítulo 8

DIAGNOSIS ELECTRÓNICA MEDIANTE PROTOCOLO OBD

Ya bien entrado el siglo XX las innovaciones mecánicas no afectaban al diseño básico de los motores, suponiendo tan solo la adición de elementos orientados a la optimización de los mismos. Es a finales de los 70 cuando se empieza a incorporar la electrónica a los automóviles. Se añadieron los primeros sensores a los motores para verificar su correcto funcionamiento además unidades de control del motor que manejaban dichos sensores. El objetivo inicial de estos elementos electrónicos era el control de las emisiones de gases contaminantes de los vehículos y facilitar la diagnosis de averías.

A partir de la década de los 80 la mayor parte de las innovaciones provinieron principalmente de la incorporación de la electrónica y no de la incorporación de mejoras mecánicas. Se añadieron multitud de sensores y se optimizaron las unidades de control del motor, hasta los años 90 donde surgió el estándar OBD. Hoy en día un automóvil puede incorporar más de 200 sensores y más de una unidad de control.

Los sensores se encargan de la medición de temperaturas, presiones, rotaciones, volúmenes y multitud de parámetros de funcionamiento. La información que captan los sensores es enviada y almacenada en las centralitas, información que permite que el propio



automóvil "conozca" su estado. En realidad, los sensores se limitan a detectar una serie de valores que envían a las centralitas y una vez allí son comparados con los valores óptimos que están almacenados en las memorias. Cuando se encuentra un valor incorrecto, la centralita notifica un fallo avisando al conductor a través de indicadores luminosos o acústicos, por ejemplo.

Los códigos de avería OBD son originarios de EEUU, los cuales surgieron para combatir los problemas de polución en Los Ángeles, de modo que el Estado de California exigió sistemas de control de emisiones de gases en los modelos de automóvil posteriores a 1966. El Gobierno Federal de los Estados Unidos extendió estos controles a toda la nación en 1968. El Congreso aprobó el Clean Air Act (Acta Antipolución) en 1970 y creó la Agencia de Protección Medioambiental o EPA (Environmental Protection Agency). La EPA inició el desarrollo de una serie de estándares en la emisión de gases y unos requerimientos para el mantenimiento de los vehículos con el fin de ampliar su vida útil. Para ello el sistema de diagnóstico debía cumplir varias condiciones:

- Incorporar un testigo de averías, el cual proporcionara un aviso visual al conductor sobre una avería en el sistema anticontaminante.
- El sistema debía poder registrar, almacenar y recuperar los códigos de avería relacionados con el sistema anticontaminante.

Para cumplir estos estándares los fabricantes implementaron sistemas de encendido y de alimentación controlada de combustible, con sensores que median las prestaciones del motor y ajustaban los sistemas para conseguir una mínima polución.

En abril de 1985 un organismo estatal de California, el CARB (California Air Resources Board), aprobó una regulación para un sistema de diagnóstico a bordo u OBD (On-Board Diagnostic). Esta regulación que se aplica a los automóviles vendidos en el estado de California a partir de 1988, especificaba que el Módulo de Control de Motor o ECM (Engine Control Module) debía monitorizar ciertos componentes del vehículo relacionados con las emisiones de gases para asegurar un correcto funcionamiento, además de la existencia de un testigo luminoso indicador de fallo o MIL (Malfunction Indicator Lamp) en el cuadro de mandos cuando se detectara un problema.

El sistema OBD también aporta un sistema de Códigos de Error de Diagnóstico o DTC (Diagnostic Trouble Codes) y unas tablas de errores en los manuales de reparación para ayudar a los técnicos mecánicos a determinar las causas más probables de avería en el motor y



problemas en las emisiones. Los objetivos básicos de esta regulación fueron fundamentalmente dos:

- Reforzar el cumplimiento de las normativas de la regulación de la emisión de gases alertando al conductor cuando se presenta un fallo.
- Ayudar a los técnicos mecánicos de reparación de automóviles en la identificación y reparación de fallos en el sistema de control de emisiones.

8.1. INTRODUCCIÓN AL EOBD

La versión europea de este sistema de diagnóstico sólo difiere muy poco del OBD de los EE.UU.

El sistema EOBD ha sido adaptado solamente a la legislación europea sobre las emisiones de escape y se distingue asimismo por incorporar el interfaz central para diagnósticos y el testigo de aviso relativo a los gases de escape

La Unión Europea aprobó el 13 de octubre de 1998 la directriz UE 98/69/CE, que establece la implantación obligatoria del sistema EOBD para todos los países miembros. Esta directriz ha sido transformada en la República Federal de Alemania en una normativa jurídica nacional.

La implantación del sistema EOBD no está relacionada directamente con una normativa sobre los gases de escape de la Unión Europea (UE II, UE III, UE IV) o de la República Federal de Alemania (D2, D3, D4). Por ese motivo, la fecha de implantación y el consiguiente plazo de transición se tienen que considerar independientemente de las normativas sobre emisiones de escape.

Desde el 01 de enero del 2000, la industria del automóvil ya sólo recibe la homologación de sus nuevos modelos con motores de gasolina si poseen un sistema EOBD.

Los elementos visibles del EOBD son el testigo de aviso de gases de escape K83 y el interfaz para diagnósticos en el habitáculo. Todas las demás funciones y los diagnósticos se llevan a cabo de forma autónoma por parte de la unidad de control del motor, sin que el conductor se percate de las continuas verificaciones que son llevadas a cabo por sus sistemas técnicos de relevancia para la composición de los gases de escape del vehículo. Esto significa, que no hay muchos cambios para el conductor de un vehículo con EOBD, pero que al personal de servicio le esperan nuevas tecnologías y nuevas secuencias de operaciones de trabajo a ese respecto.

Testigo de aviso de gases de escape K83

Si en el vehículo interviene un fallo que declina la calidad de los gases de escape se inscribe la avería en la memoria y se enciende el testigo de aviso de gases de escape. El testigo parpadea si puede suceder que el catalizador sufra daños debidos a fallos de la combustión.

Interfaz para diagnósticos

Los datos memorizados del EOBD pueden ser consultados a través del interfaz para diagnósticos. Los códigos de avería han sido estandarizados, para que sea posible consultar los datos con cualquier generic scan tool (visor de datos OBD). El interfaz para diagnósticos debe estar a buen acceso desde el asiento del conductor.

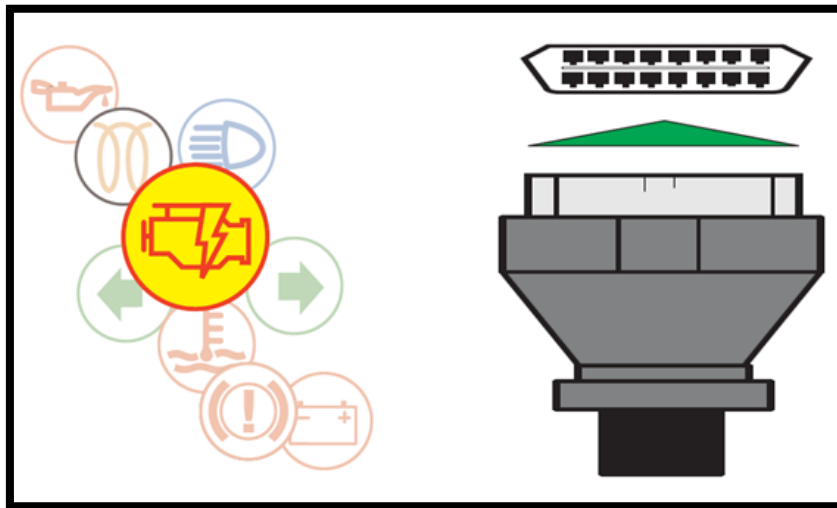


Figura 77. Testigo de aviso y conector de datos

El sistema EOBD verifica:

- El funcionamiento eléctrico de todos los componentes que son importantes para calidad de los gases de escape.
- El funcionamiento de todos los sistemas del vehículo que influyen en la calidad de los gases de escape (p. ej. sondas lambda, sistema de aire secundario).
- El funcionamiento del catalizador
- La presencia de fallos de la combustión
- El CAN-Bus de datos
- El funcionamiento intachable del cambio automático



8.2. FUNCIONES DEL EOBD

Todos los vehículos actuales, disponen de una o varias ECU's (unidad electrónica de control), que se encargan de gestionar ciertos parámetros de nuestro vehículo para asegurar su correcto funcionamiento. Las relaciones entre estos parámetros deben mantenerse acotadas, dependiendo de las condiciones externas varían ciertos rangos, o si no, es que se está produciendo algún mal funcionamiento en nuestro vehículo.

Los parámetros principales que dictan como debe estar funcionando nuestro motor, y si verifican si todo funcionando correctamente son:

- Velocidad
- Carga
- Temperatura del motor
- Consumo de combustible
- Temperatura ambiente
- Caudal de aire
- Emisiones

Para conocerlos, los automóviles actuales, incorporan una gran cantidad de sensores, que permiten conocer a las ECU, cuáles son las condiciones externas, y decidir cómo actuar sobre el motor. En caso de que alguno de los parámetros se salga de los rangos marcados, el sistema EOBD es el encargado de almacenar esta información y avisar al conductor de que algo sufre un mal funcionamiento, señalizando con un indicador luminoso que es recomendable ir al taller a revisar que error se ha producido.

Una vez el vehículo llega al taller, el equipo de mecánicos, puede acceder a la información almacenada por el EOBD, ver que error era el que se había producido, y arreglarlo en caso de necesidad sin tener que hacer múltiples pruebas para descubrir la procedencia del error.

Por supuesto, el sistema no es perfecto, y habitualmente, cuando se produce un error en nuestro vehículo, se desencadena una serie de errores inducidos, que también son almacenados. Aquí es donde entra la experiencia y el saber del mecánico para descubrir dónde está la raíz del problema.

8.3. COMPONENTES DEL SISTEMA EOBD

Cuando el sistema almacena alguna información de error, nos indica, generalmente con una señal luminosa, que algo está funcionando incorrectamente y por tanto es aconsejable que acudamos a un taller para que revisen el automóvil.

Una vez en el taller, el equipo de mecánicos, conectará nuestro automóvil un escáner o lector del sistema EOBD que le facilitará la información almacenada. A principios de los 80, cuando se extendió el uso de este sistema de diagnóstico, cada fabricante era libre de incorporar su propio conector y utilizar los códigos de error que quisiera. Esto dificultaba mucho la utilización de este sistema para la reparaciones, ya que la inversión que se requería en los talleres mecánicos era altísima y poco práctica (debían disponer de muchos lectores y de muchas tablas de códigos). Para que el uso de este sistema fuera práctico y viable, en 1996, se llegó a un consenso entre los fabricantes y se estandarizaron los códigos y el conector. Así con un único lector de códigos y una tabla de errores, se puede diagnosticar un error en cualquier coche, independientemente del fabricante.

A continuación se detallan los componentes necesarios para realizar una correcta diagnosis del automóvil, y por lo tanto los componentes que debe tener un taller mecánico.

8.3.1. CONECTOR

El conector del sistema EOBD tiene que cumplir las especificaciones correspondientes a la normativa ISO 15031-3:2004.



Figura 78. Cable conector EOBD

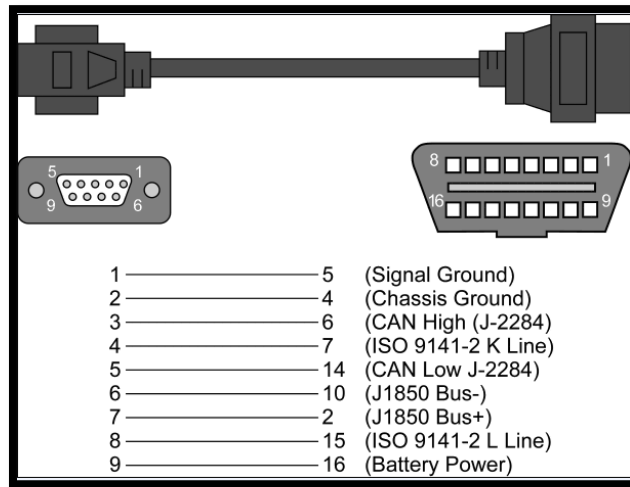


Figura 79. Terminales conector EOBD

8.3.2. CÓDIGOS DE ERROR

Los códigos también están estandarizados y deben seguir el siguiente esquema.

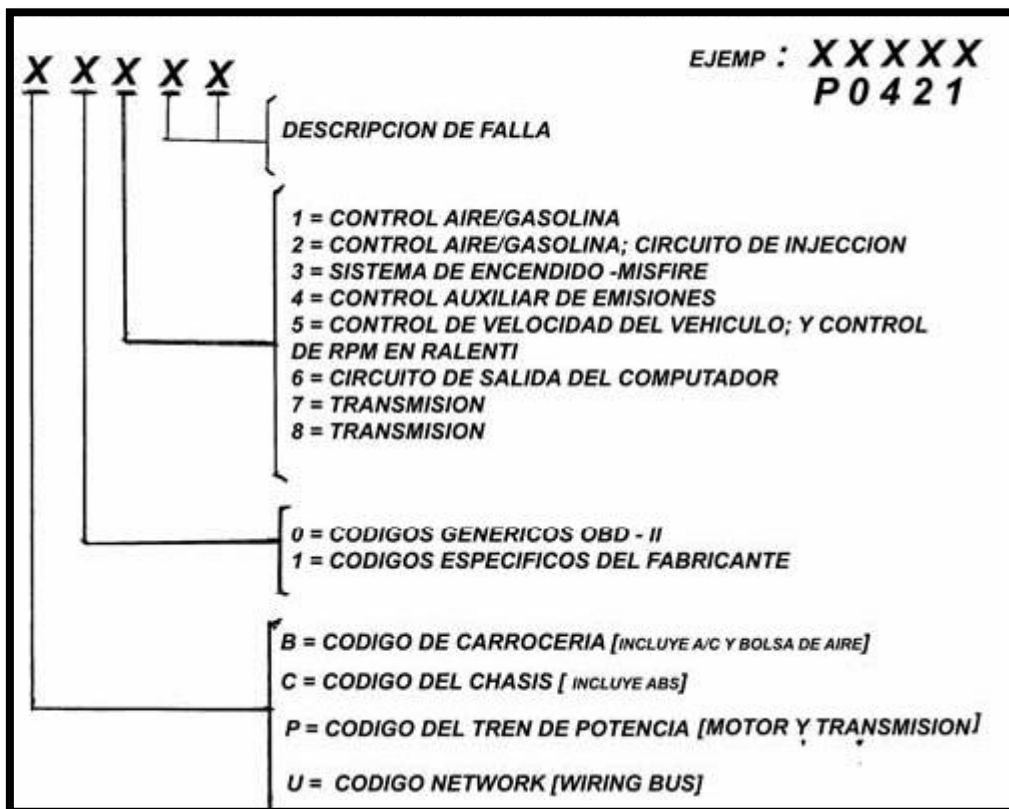


Figura 80. Descripción de códigos de diagnóstico OBDII



Por supuesto, existe una tabla con todos los códigos estandarizados, pero eso no impide que cada fabricante, añada sus propios códigos para el control de parámetros o errores que no están tabulados en los códigos estándares.

8.3.3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Básicamente existen 3 protocolos de comunicación del sistema OBDII con los lectores. Los fabricantes han escogido qué protocolo utilizar y todos los vehículos que salen de su fábrica salen con el mismo protocolo, por tanto es fácil saber qué tipo de protocolo funcionan las comunicaciones de nuestro coche.

- ISO 9141-2 en vehículos Europeos, Asiáticos y Chrysler con variantes (Key Word Protocol=Palabra Clave)
- SAE J1850 VPW que significa Ancho de Pulso Variable (Variable Pulse Width) y lo utiliza GM USA
- SAE J1850 PWM que indica Modulación Ancho de Pulso (Pulse Width Modulación) utilizado por Ford USA.
- KWP 1281 y KWP 2000 utilizado por el grupo VAG.
- ISO 14230 que lo utiliza Renault, etc.

Como es fácil deducir, cada uno de estos protocolos, requiere de un tratamiento de la información, antes de conectar el EOBD con el PC, diferente. Y por tanto, se requieren interfaces de conexión diferentes. Esto no es del todo exacto, ya que existe la posibilidad de fabricar un interfaz de conexión del EOBD con el PC, capaz de utilizar todos los protocolos e incluso seleccionar automáticamente cual es el protocolo utilizado por el vehículo a conectar.

8.3.4. LECTORES DE CÓDIGOS

Para poder extraer los datos del EOBD de un vehículo, se necesita un interfaz de conexiones, que recodifique la información que obtiene del vehículo, para que ésta pueda ser entendida por el software del ordenador.

Dichos interfaces son bastante sencillos, y como podemos ver en la figura 81 no se necesitan grandes conocimientos de electrónica, ni materiales difíciles de conseguir para fabricar uno.

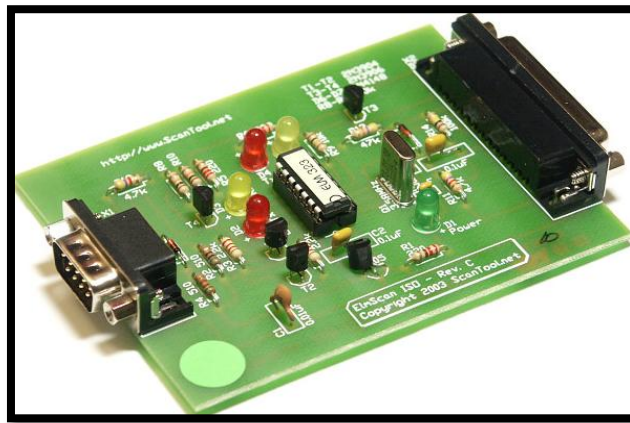


Figura 81. Interfaz de comunicación

Como se ha comentado en el apartado anterior, para cada protocolo, es necesario utilizar un interfaz diferente, o bien crear un interfaz capaz de trabajar con todos los protocolos.

Una vez tenemos conectado el EOBD del vehículo con el PC, es necesario disponer del software capaz de leer la información, una vez recodificada, que viene del vehículo. Por supuesto que existen muchas opciones y a continuación se detallan algunos de los software disponibles actualmente para la lectura de dicha información:

- Scantool.net 1.13
- EasyOBD II 2.1.1
- OBD 2007
- VitalScan 1.3

8.3.5. OTROS SISTEMAS DE LECTURA

Todos los sistemas que se han visto hasta el momento, estaban formados por:

- Cable de conexión del conector OBDII al interfaz
- Interfaz de conexiones
- Cable del interfaz al puerto COM del PC.
- Software para lectura de los códigos

Sin embargo debemos señalar la existencia de otras posibilidades, algo más simplificadas, y que pueden ser adquiridas fácilmente. Se trata de instrumentos de lectura de códigos, que disponen de capacidad de lectura del EOBD sin necesidad de ningún PC. Estos

sistemas realizan el tratamiento de la información del EOBD del vehículo y muestran en su pantalla los códigos de error.



Figura 82. Sistemas de tratamiento de información OBD

8.4. FUTURO DE LA DIAGNOSIS DEL AUTOMOVIL. INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS EN LA ITV

El ejemplo que se describe a continuación esta realizado mediante el software Autocom. Cada lector de OBD tiene asociado un software determinado, pero los pasos a seguir son siempre los mismos.

Identificación del vehículo

Lo primero que debemos hacer para inspeccionar el vehículo es especificarle al programa de qué vehículo se trata. Para ello metemos la marca, el modelo y el año de matriculación.

Nº SERIE 39620815 B		MATRICULA	
SEAT S.A. Ronda A-2, Km 560 08740 - Mataró (Barcelona)		9727FZM 086326	
Número de identificación: VSSZZZ6LZBR096326		Nº CERTIFICADO	
Clasificación del vehículo: SEAD14H6		075121026	
1 0 0 0 TURISMO			
Marca:	SEAT	Ciudad:	1441
Tipo:	6L	Altura total (mm):	1498
Variante:	SCNBNVX01/S6FM52R01640	Ancho total (mm):	1419/1408 (13)
Denominación comercial:	IBIZA	Via anterior/posterior (mm):	3953
Tara (kg):	1131	Longitud total (mm):	662
MTMA/MMA 1ª E (kg):	1644	Volúmenes posterior (mm):	2460
MTMA/MMA 2ª E (kg):	897	Distancia eje 1º/2º (mm):	—
MTMA/MMA 3ª E (kg):	795	Distancia eje 2º/3º (mm):	—
MTMA/MMA 4ª E (kg):	—	Distancia eje 3º/4º (mm):	—
MMA 5ª E (kg):	—	Distancia 1ª rueda (mm):	—
MMA 6ª E (kg):	600/1000	Motor:	Volkswagen
Neumáticos:	4-185/60 R14 B2H	Tipos:	(D) BNV
Nº de asientos:	5	Nº Cilindros/Cilindrada (cm³):	3/1422
Volumen de bodega:	—	Palanca fiscal (K.V.F.R.M.):	9,67/59
Opciones incluidas en la homologación de tipo (1) 1435/1424 195/50 R15 B2V1 199/55 R15 B5V; 205/43 R14 B3H; 205/40 R17 B2H; (INVIERNO: 185/55 R15 B2T M+S).			
Observaciones: CO2=119.			
Por las piezas de origen extranjero incorporadas a este vehículo se han satisfecho los correspondientes derechos de Aduanas.			
El abajo firmante, legalmente autorizado por SEAT, S. A.		certifica que	
el vehículo carrozado cuyas características se recogen en completamente conforme con el tipo homologado con la contraseña 99*2001/116*0041		as como con las opciones arriba indicadas.	
HARTORELL		13 de NOVIEMBRE de 2007	
SEAT S.A. Sdad. Unipersonal - Domic. Social: Pabellón A-2, Km 560 - 08740 - Mataró C.I.F. B-08740-1001 - I.V.A. 0663 - N.I.F. 087401001		F.º: ANTONIO LÓPEZ PÉREZ	
Reformas autorizadas:			
09/28/00		AZUL	

Figura 83. Tarjeta de inspección técnica

Una vez introducidos estos datos en el programa, el mismo nos mostrará una lista con los diferentes tipos de motor que podría llevar nuestro vehículo, debemos elegir el apropiado, para ello al igual que antes podemos consultar la tarjeta de inspección técnica, que nos mostrará también la capacidad del motor, y que también deberemos introducir en el programa.

Por último, elegimos el sistema del vehículo que vamos a analizar primero, estos pueden ser, el motor, el ABS, el aire acondicionado, el airbag...

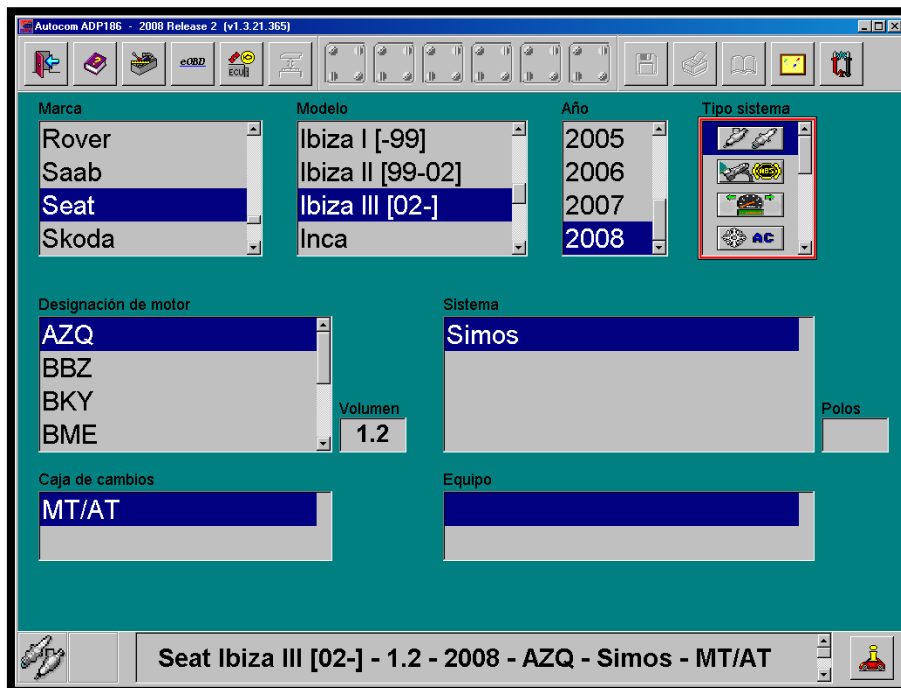


Figura 84. Identificación del vehículo en el programa

Localización del conector

A continuación deberemos conectar el lector OBD al vehículo mediante el conector, para ello el propio programa nos indicara la localización de la clavija en el coche en función del modelo de vehículo que hayamos elegido, así como el tipo de conector adecuado para este, que como ya se ha explicado anteriormente suele ser un conector universal de ocho clavijas, aunque en modelos antiguos es posible que sea un conector específico.

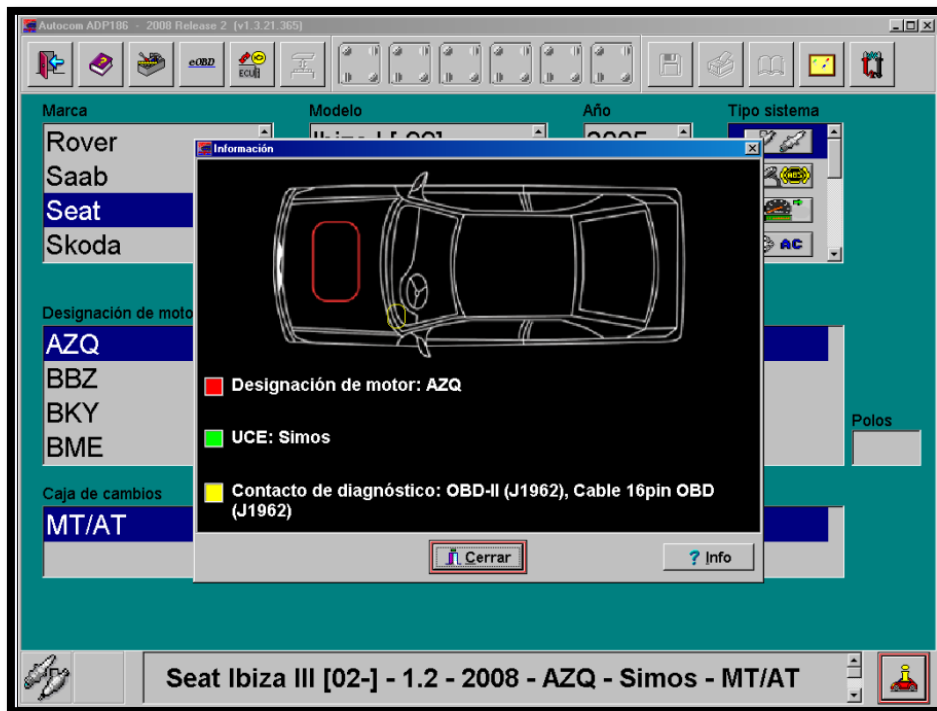


Figura 85. Localización del conector EOBD mediante el programa



Figura 86. Tipos de conectores EOBD

Conexión del vehículo al sistema

Una vez que hemos localizado la clavija en el interior del coche y el tipo de conector que debemos utilizar conectamos el dispositivo OBD con el coche y con el ordenador que vayamos a utilizar.

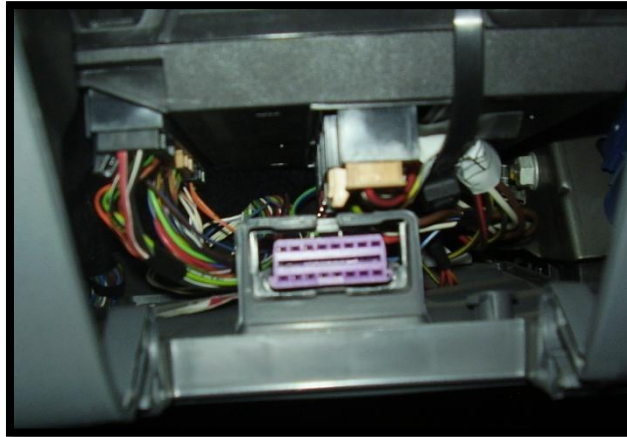


Figura 87. Localización del dispositivo EOBD

En la siguiente imagen se muestra un esquema de la conexión a realizar: necesitaremos dos cables, el primero unirá el coche al dispositivo de escáner OBD, y otro que conecte el dispositivo de escáner con el ordenador, con el que podremos realizar el análisis a través del software adecuado.

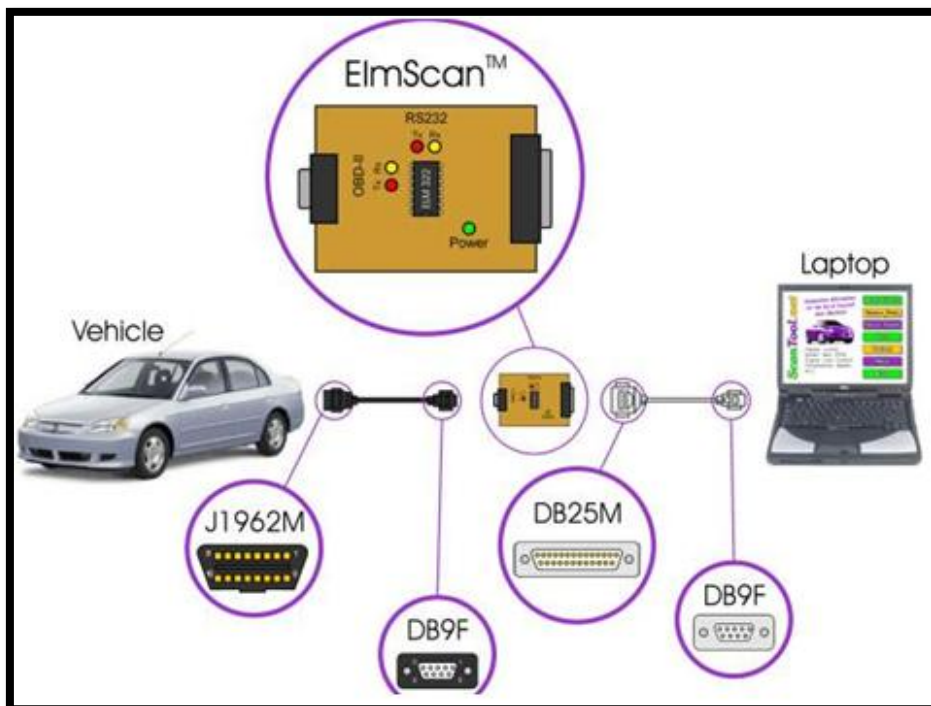


Figura 88. Conexión al vehículo mediante conector EOBD



Figura 89. Situación de vehículo en prueba de diagnóstico mediante EOBD



Figura 90: Equipos de diagnóstico EOBD multimarca BOSCH y AUTOCOM

Diagnosis

El último paso del procedimiento consiste en la diagnosis del vehículo. El sistema nos dará una respuesta del estado del componente que hayamos elegido para analizar, en caso de avería nos mostrará un código determinado que podremos identificar y así saber el tipo de avería que se ha detectado en caso de que el sistema no detecte ninguna avería nos lo indicará con un mensaje.

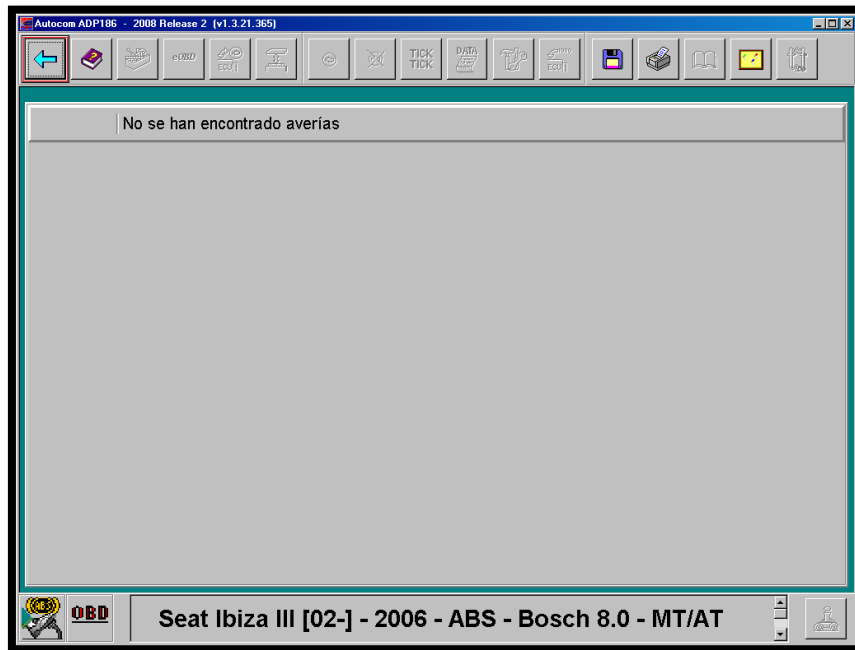


Figura 91. Pantalla de informe de diagnosis EOBD realizada

8.5. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

8.5.1. DIAGNÓSTICO DEL LÍMITE DE REGULACIÓN PARA LA SONDA POSTCATALIZADOR

Si la mezcla de combustible y aire tiene la composición óptima, la tensión de la sonda posterior al catalizador oscila en torno a $\lambda = 1$. Si la sonda postcatalizador genera una tensión superior o inferior al promedio calculado, esto denota la existencia de una mezcla de combustible y aire demasiado rica o pobre, respectivamente. Por ese motivo, la unidad de control del motor modifica su valor de regulación lambda (influyendo así en la composición de la mezcla de combustible/aire) hasta que la sonda postcatalizador vuelva a señalar $\lambda = 1$. Este valor de regulación lambda posee límites fijos. Si se sobrepasan estos límites de regulación, el EOBD supone que se produce una avería en la sonda postcatalizador o en el sistema de escape (aire infiltrado).

Mediante un descenso de la tensión, la sonda postcatalizador informa a la unidad de control del motor acerca de un ascenso del contenido de oxígeno en los gases de escape. A raíz de ello, la unidad de control del motor aumenta el valor de regulación lambda, enriqueciendo la mezcla de combustible/aire. La tensión de la sonda postcatalizador asciende correspondientemente y la unidad de control del motor puede volver a reducir el valor de regulación lambda. Esta regulación se desarrolla a lo largo de un ciclo relativamente prolongado de la marcha del vehículo.

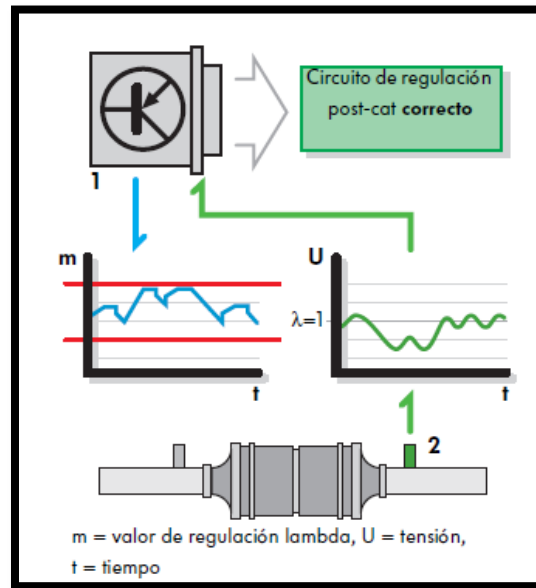


Figura 92. Mezcla pobre de aire/combustible y regulación correcta

En el caso de alcanzar los valores límites de regulación, la sonda postcatalizador informa a la unidad de control del motor, mediante un descenso de la tensión, acerca de un ascenso del oxígeno contenido en los gases de escape. A raíz de ello, la unidad de control del motor aumenta el valor de regulación lambda, enriqueciendo la mezcla de combustible y aire. A pesar de este enriquecimiento de la mezcla, la tensión de la sonda se mantiene baja, debido a una avería, y la unidad de control del motor sigue aumentando el valor de regulación lambda hasta alcanzar el límite de regulación, detectando así la avería.

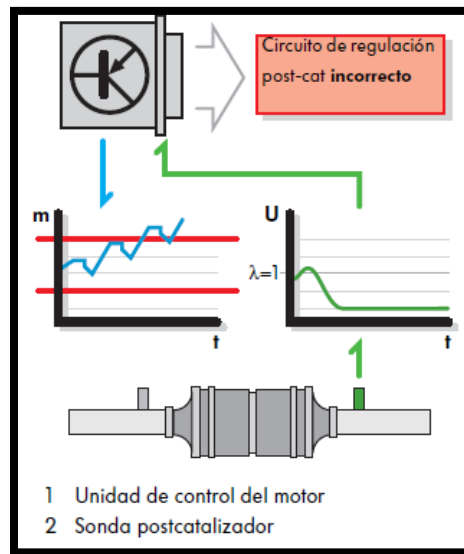


Figura 93. Mezcla pobre de aire/combustible alcanzándose el límite de valores de regulación

8.5.2. DIAGNÓSTICO DEL TIEMPO DE REACCIÓN DE LA SONDA ANTE CATALIZADOR

También el tiempo de reacción de la sonda ante el catalizador puede sufrir una declinación debida a envejecimiento o intoxicación de la sonda.

La premisa inicial para un diagnóstico del tiempo de reacción es la modulación de la mezcla de combustible/aire por parte de la unidad de control del motor. Esta modulación es a su vez una leve oscilación entre mezcla pobre y mezcla rica, generada artificialmente por la unidad de control del motor, debido a que el valor lambda se puede regular con una exactitud tal en la sonda lambda de banda ancha, que siempre se cifraría en $\lambda = 1$. Sin embargo, para su funcionamiento óptimo, el catalizador necesita ligeras fluctuaciones en la composición de la mezcla, en virtud de lo cual se procede a modular ésta por mediación de la unidad de control del motor al emplear una sonda lambda de banda ancha.

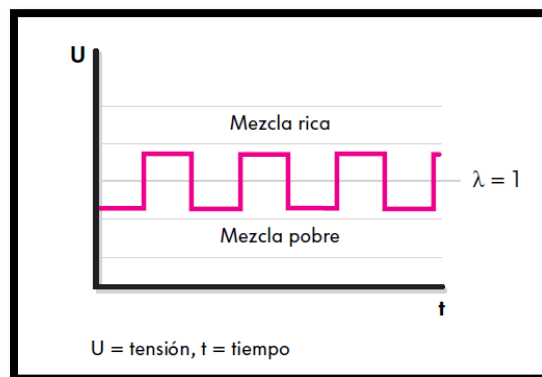


Figura 94. Modulación de la mezcla por parte de la unidad de control de motor

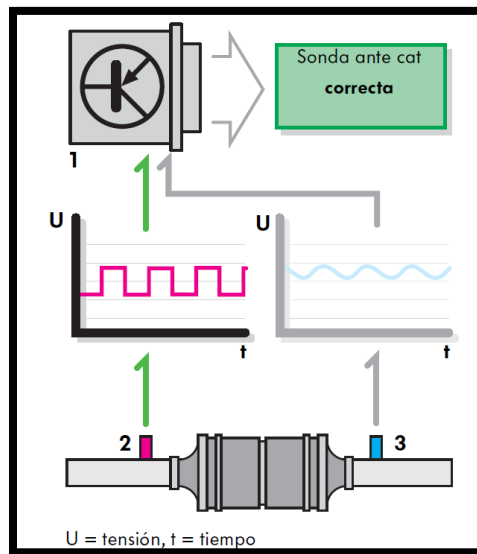


Figura 95. La señal de la sonda ante catalizado sigue a la modulación de la mezcla de combustible/aire que efectúa la unidad de control del motor

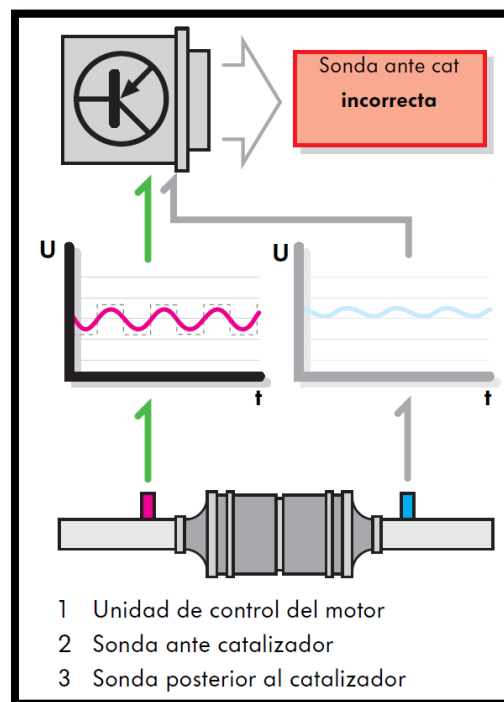


Figura 96. La señal de la sonda ante catalizador ya no puede seguir a la modulación de la mezcla de combustible/aire



8.6. CONSECUENCIA DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA OBD

8.6.1. CONSECUENCIAS DE UTILIZACIÓN DEL SISTEMA EOBD PARA LOS TALLERES

En este apartado sí que podemos encontrar para los talleres más desventajas que ventajas. Como hemos comentado, las unidades de mando van provistas de un software muy complejo que obliga a los mecánicos (talleres en general) a estar muy actualizados mediante la realización de cursos sobre el funcionamiento de los diferentes sistemas y de realizar una inversión en diferentes tipos de herramientas. Una de las herramientas principales es una máquina de diagnosis (lector de códigos de avería) sin el cual no obtendremos comunicación con las diferentes unidades de mando y no podemos extraer o visualizar los códigos de avería que tienen grabados. A parte de esta herramienta, la cual nos da una visión muy clara de la avería necesitamos otras para poder definir y prever con exactitud la causa de la avería. Entre otras herramientas debemos disponer de un osciloscopio con su correspondiente juego de cables y puntas de comprobación, y de información sobre el funcionamiento y los datos de comprobación y de los diferentes elementos que componen el sistema, así como los esquemas eléctricos correspondientes.

Por otro lado obtenemos que el testigo de averías puede encenderse de forma esporádica, y apagarse posteriormente, sin dejar grabado ningún código de avería. Esto es lo que se llama una avería fugaz, la cual es difícil de determinar debido a que el fallo se produce normalmente de forma aislada y bajo unas condiciones de funcionamiento concretas.

Dentro del sistema EOBD obtenemos los ciclos de comprobación, los cuales nos dan el estado de los diferentes circuitos y componentes comprobados. Estos son mostrados por la máquina de diagnosis a través de la función llamada readinesscode. Cuando un circuito o elemento esta/n averiados, cuando accedemos el readinesscode no nos dará la conformidad, si por el contrario no existe ningún problema obtendremos un OK. Cuando el readinesscode no ha dado la conformidad, es necesario, después de reparar la avería, realizar una prueba en carretera para poder obtener la confirmación del mismo y que el sistema EOBD funcione correctamente.

Dentro de los talleres también podemos incluir las instalaciones de las ITV, aquí en España todavía controlan el funcionamiento del motor mediante una maquina de cuatro gases y observando que el testigo de inyección y/o EOBD no está encendido/s sin controlar el sistema EOBD con una maquina de diagnosis. Según la normativa no es necesario realizar la



prueba con una maquina de cuatro gases, basta con realizar la prueba con la máquina de diagnosis, aunque en países como Alemania sí que realizan este control y el de el sistema EOBD, ya que algunas de las maquinas de cuatro gases incorporan un lector de EOBD.

8.6.2. CONSECUENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA EOBD EN EL AUTOMÓVIL

En principio las consecuencias para el vehículo no son apreciables. Existen algunos beneficios, como puede ser: el control exhaustivo de los gases de escape, con el que obtendremos indirectamente una emisión de los gases más reducida y controlada, protegiendo el medio ambiente. Por otro lado, podemos obtener unas aceleraciones más progresivas sin dañar el motor. Esto es debido a que la unión entre la mariposa de gases y el pedal acelerador no es con un cable, sino que en el pedal tenemos un potenciómetro y en la mariposa un motor eléctrico, que la acciona en función de las señales recibidas de la unidad de mando motor. Esta, en función de los demás sensores y captadores, así como la del potenciómetro acelerador, utiliza la cartografía de activación que más se adapta a la situación.

Por el contrario, uno de los inconvenientes que podemos encontrar, es que al estar constituidas por un software muy complejo y si desembornamos la batería con el contacto puesto, podemos producir unos picos de tensión que nos pueden dañar la unidad de mando o borrar todo o parte del software, lo que nos obliga a sustituir o a realizar una programación nueva.

En el futuro, el sistema EOBD se convertirá en una especie de “caja verde” del automóvil. Esto es debido a que el sistema EOBD experimentara un endurecimiento de sus normas así como un refuerzo al programa de inspección y de mantenimiento del parque automovilístico europeo. Para ello, aparte de controlarlo, las ITV's, los miembros de los cuerpos de policía de los diferentes países podrán realizar comprobaciones en ruta, con lo que serán dotados de un lector de EOBD homologado, para poder parar a un automovilista y, a parte de realizar una comprobación rutinaria de los papeles, realizar el control del sistema EOBD y poder amonestar en consecuencia al conductor. Para realizar esta prueba, como ya hemos comentado anteriormente, el sistema, al grabar la avería, simultáneamente, memoriza también varios parámetros con los cuales el agente puede dictaminar la avería y el tiempo que el coche lleva funcionando con la misma.



CONCLUSIONES

Tras el desarrollo de este proyecto podemos concluir que se han alcanzado los objetivos planteados en el mismo. Se ha realizado una revisión de los diseños de las sondas lambda actuales, los funcionamientos de los catalizadores, los métodos de inspección de gases de escape y la diagnosis electrónica gracias a los códigos de avería OBD.

La existencia de elementos de control como la sonda lambda son imprescindibles para el cumplimiento de las actuales norma anticontaminación y la creciente rigurosidad de las mismas exige una continua revisión e investigación.

A pesar de que el control electrónico de innumerables parámetros consigue una disminución de productos perniciosos, la existencia de catalizadores permite la conversión de aquellas sustancias emitidas mediante procesos químicos, reduciendo en mayor grado el impacto ambiental de los vehículos.

El control de todos los elementos electrónicos presentes en los automóviles se ve posibilitado por el uso de códigos de averías OBD. Dichos códigos facilitan la localización de problemas en el vehículo, así como el posterior tratamiento del mismo y en consecuencia, el mantenimiento del estado idóneo de funcionamiento del vehículo.

Todos los elementos aquí tratados se encuentran en continuo desarrollo, siendo su revisión necesaria continuamente debido al incesante progreso de las tecnologías, facilitando el uso de los vehículos con impactos ambientales que tendemos a minimizar.



DESARROLLO FUTURO

Debido al continuo desarrollo de la tecnología referente a la sonda lambda así como a los catalizadores es patente la necesidad de una continua revisión de los mismos.

Entre los trabajos a los que podría dar lugar el presente proyecto se destacan los siguientes:

- Investigación de la sonda lambda en diferentes aplicaciones como puede ser su uso en calderas de combustión en el ámbito doméstico.
- Evaluación del efecto de una sonda lambda defectuosa, centrándose en la variación de emisiones, consumo de combustible y efectos sobre el catalizador.
- Desarrollo del comportamiento electrónico del módulo central de control como respuesta ante valores de entrada como las revoluciones, la riqueza del motor o el estado de carga.
- Monitorización y estudio de los valores de emisiones así como la riqueza de la mezcla en base a los diferentes estados de funcionamiento del motor.



BIBLIOGRAFÍA

Para la realización de este proyecto los principales documentos consultados han sido:

- **“Motores de automóvil” – Dirigido por M.S. Jójaj**
- **“Técnica de gases de escape para motores de gasolina” – Bosch Service**
- **“Técnicas del automóvil. Inyección de gasolina y dispositivos anticontaminación” – J.M. Alonso**
- **“Manual de la técnica del automóvil” – Karl-Heinz Dietsche**
- **“Understanding automotive electronics” – William B. Ribbens, Norman P. Mansour**
- **“Módulo de control de emisiones” – Capacitación Técnica de Postventa Ford**
- **“Informe BASMA 2006” – Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil**
- **“No Way Back: Why Air Pollution Will Continue to Decline” – Schwartz, Joel. AEI Press**
- **“Manual de procedimiento de inspección de las estaciones ITV” – Ministerio de Industria, turismo y comercio. Enero 2009**

También ha servido de ayuda la información contenida en las siguientes páginas web:

- **<http://www.ngk.es/es/tecnologia-en-detalle>**
- **<http://www.as-sl.com/informacion/index.htm>**
- **www.bosch.com.mx**