



La contaminación atmosférica producida por automóviles.

En la lucha por contener y reducir la contaminación atmosférica, se han ensayado y puesto en práctica múltiples estrategias, principalmente en EE. UU. y Europa Occidental. En los últimos años se ha prestado atención a la contaminación producida por los automóviles y a la aplicación de reglamentos sobre emisión de contaminantes, cada vez más estrictos en toda Europa. Esto nos lleva a pensar en la próxima aplicación en España de medidas semejantes, entre las que se incluirá probablemente, la obligatoriedad de incorporar catalizadores a los sistemas de escape de los automóviles que utilizan gasolina como carburante.

Los reactores catalíticos, también llamados catalizadores, son equipos que se instalan en el tubo de escape de los automóviles, y tienen por misión favorecer las reacciones químicas que deben producirse entre los productos de la combustión, para que éstos pasen de ser contaminantes a inocuos. Están constituidos por metales nobles, dispuestos sobre un soporte cerámico en forma de alveolos, que pueden ser obstruidos e inutilizados por depósitos de plomo, por lo que el primer requisito para su instalación será la eliminación del plomo

de la gasolina. Además, para su buen funcionamiento exigen un minucioso control y regulación de las proporciones de oxígeno en la mezcla.

Por estas razones, la adaptación a la normativa europea anticontaminación, supondrá la instalación del catalizador y el sistema electrónico de alimentación de combustible, lo que supondrá un desembolso adicional para el usuario, y paralelamente un esfuerzo considerable de refinado y obtención de gasolinas sin plomo para las empresas destinadas a la fabricación y refinado de estos combustibles.

CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR EL AUTOMOVIL

Qué duda cabe que el automóvil contribuye a la contaminación atmosférica parcialmente en algunos contaminantes y en su totalidad en otros.

La "lluvia ácida" que tanto perjudica a la vegetación, está en su mayor parte formada por óxidos de nitrógeno, de los que la automoción es responsable en una tercera parte, siendo las industrias y calefacciones las productoras de los dos tercios res-

tantes. Sin embargo, los automóviles, y más concretamente los de motor de gasolina, son responsables prácticamente en su totalidad de la contaminación producida por compuestos derivados del plomo que se expulsa a la atmósfera desde los sistemas de escape de estos vehículos.

Entre los principales contaminantes producidos por la automoción, destacan los siguientes:

- Monóxido de carbono, CO
- Hidrocarburos no quemados, H_c C
- Oxidos de nitrógeno, NO_x
- Materia sólida en suspensión (humos).
- Dióxido de azufre, SO₂
- Plomo y derivados
- Aldehídos, R-CHO

Estos son producidos y emitidos en cantidades variables, según el tipo de motor y de la forma que son utilizados. En la tabla I recogemos, a modo orientativo, los valores medios de contaminación, según la utilización de los motores.

En este estudio no se tiene en cuenta la emisión de contaminantes procedentes del cárter del motor que en los vehículos modernos no fluyen al exterior a través del respiradero de



Posibles soluciones

ANTONIO RIERA DE CASO
 Centro de Experimentación
 y Seguridad Vial (CESVI) ITSEMAP

TABLA I

Elemento contaminante	Motor de gasolina				Motor de gas-oil			
	R	A	C	D	R	A	C	D
Monóxido de Carbono CO (%)	11.2	2.8	5.1	4.8	0	0	0	0
Hidrocarburos (%) HC	0.98	0.20	0.05	2.64	0.047	0.018	0.013	0.061
Oxidos de Nitrógeno NO _x (ppm)	45	1430	314	12	60	827	310	40
Formaldehído (ppm)	7.2	28	1	2.21	4	7	4	6

% = Tanto por ciento en peso. Índice utilizado generalmente para grandes concentraciones.

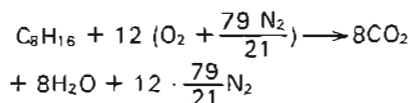
ppm = Partes por millón = mgr./Kg. Índice utilizado para concentraciones pequeñas.

R = Ralentí; A = Aceleración; C = Crucero; D = Deceleración.

éste, sino que se recirculan de nuevo hasta la admisión, uniendo el filtro del aire con el respiradero del cárter.

El origen de estos productos contaminantes expelidos por el sistema de escape, está en las reacciones de combustión que tienen lugar en las cámaras de los cilindros y en la propia composición de los combustibles utilizados.

En un supuesto ideal, con un combustible de sustitución, por ejemplo el octano (C₈H₁₈), y una relación entre combustible y aire ideal, es decir, estequiométrica, la ecuación de reacción sería:



en la que se observa que no hay emisión alguna de contaminantes, al no considerarse el CO₂ como tal.

Pero en un motor real, la relación combustible-aire no puede mantenerse siempre igual a la relación "estequiométrica", sino que es preciso, a veces, enriquecer la mezcla con más aportación de combustible. Ejemplos de este fenómeno son aquellos casos en que se solicita más potencia al motor, o, por el contrario, aquellos otros en que se regula la mezcla para obtener un consumo reducido.

Los efectos de estas variaciones de la riqueza de mezcla se observan en los gráficos adjuntos, donde el dosado 1 corresponde a una mezcla estequiométrica, los valores superiores, 1,2, 1,3, etc., corresponden a mezclas ricas en combustibles, y los inferiores, 0,8, etc., a mezclas pobres en combustible o con exceso de aire.

Si la dosificación tiene mayor proporción de combustible (F_r > 1) que la mezcla estequiométrica, en la combustión se producirán compuestos no completamente oxidados, por carencia de oxígeno, con lo que en vez de producirse el dióxido de carbono CO₂ (no contaminante), se obtendrá el monóxido CO, y en lugar de quemarse todos los hidrocarburos, obtendremos algunos (HC) sin quemar.

Por el contrario, si la dosificación es menor que la unidad, se observa experimentalmente que crece la proporción de óxidos de nitrógeno (NO_x) y en particular del NO₂.

Así pues, el monóxido de carbono (CO) será un contaminante importante en los motores de gasolina, pues utilizan una dosificación próxima a la unidad, mientras que en los diésel, que tienen una relación combustible-aire mucho más baja, del orden del 0,60, la emisión de este contaminante será mínima.

La emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) será mucho más importante en los motores diésel que en los de gasolina, pues funcionan con presiones mucho mayores en las cámaras de combustión, lo que facilita la oxidación del nitrógeno. Al mismo tiempo, los diésel emitirán menos hidrocarburos sin quemar (HC), pues sus mezclas son más pobres en combustible.

Además de los contaminantes relacionados directamente con la regula-

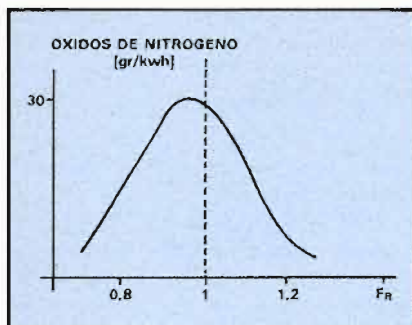


Fig. 1. Cantidad de NO_x en los gases de escape en función del dosado.

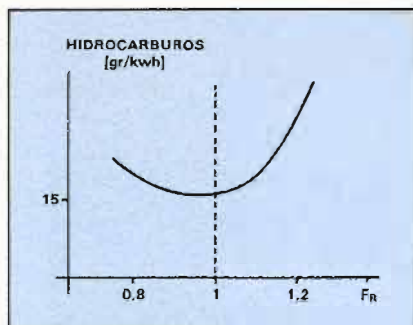


Fig. 2. Cantidad de HC sin quemar en los gases de escape en función del dosado.

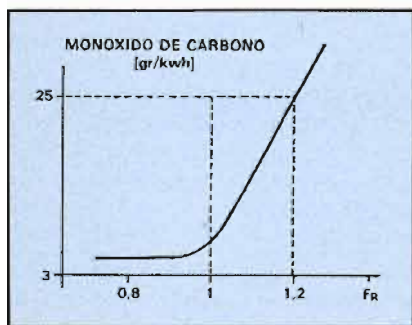


Fig. 3. Cantidad de CO en los gases de escape en función del dosado.

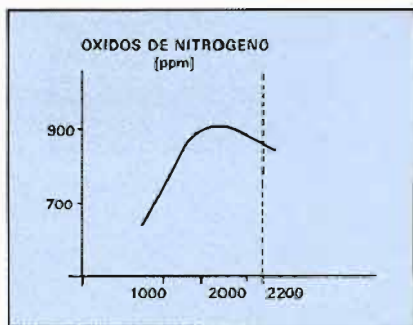


Fig. 4. Cantidad de NO_x en los gases de escape en función del régimen de giro para un motor diésel.

ción de la mezcla, ya enumerados, también deben considerarse otros, como son:

— Aldehídos: Son compuestos orgánicos que provienen de una oxidación parcial de los hidrocarburos (HC) que no llegan a quemarse del todo. Las reacciones químicas que se producen en los motores, cuando hay autoencendido, generan estos contaminantes.

— Emisiones de plomo: El plomo tetraetilo (Pb C₈ H₄₀) empezó a utilizarse en 1920 como aditivo para la gasolina en Estados Unidos, para aumentar el número de octanos de la misma, y permitir el uso de estos combustibles en motores cada vez más potentes y con relaciones de compresión mayores. Para evitar los depósitos de plomo en los pistones y válvulas de los motores, se añade dibromuro de etilo, que combinado con el plomo durante el proceso de combustión, da bromuro de plomo y otros compuestos volátiles, que son los que aparecen en los gases de escape del motor de gasolina. La influencia de estos contaminantes a base de plomo en la salud es muy

grande, pues el plomo, al ser de características similares al calcio, se fija en los huesos, y por sus características metálicas no se degrada ni desaparece con el paso del tiempo, con lo que las absorciones de este elemento son acumulativas e ineliminables por el organismo.

— Oxidos de azufre: Proviene de la oxidación del azufre que contiene el combustible, sobre todo el aceite pesado.

— Partículas sólidas (humos). Si durante el proceso de combustión existen zonas con dosados muy ricos, debidos a una mezcla combustible-aire poco homogénea en la cámara, al elevarse la presión y temperatura con falta de oxígeno, puede que la cadena del hidrocarburo se rompa y pierda el hidrógeno, convirtiéndose en carbón que se desprende en forma de partículas.

Estos humos y carbonillas se producen principalmente en los motores diésel por sus altas presiones y temperaturas, y en la zona próxima a los inyectores, donde el dosado es muy rico. La emisión de humos es mayor cuanto mayores es el retraso de la inyec-

ción. Asimismo, un combustible de alto número de cetano, que le permita que la combustión se efectúe más rápidamente, producirá más humos que otro, que al tener un número de cetano menor, efectúa la combustión en un lapso de tiempo más prolongado.

Un resumen de los principales contaminantes, puede verse en la tabla II:

ACCIONES PARA LA REDUCCION DE LA CONTAMINACION

Una vez analizadas las principales causas de contaminación producidas en la automoción, en la búsqueda de posibles soluciones que sean eficaces, se puede estudiar el hecho analizando los dos tipos de motores que las producen, para tratar de encontrar posibles actuaciones en cada caso.

En motores diésel

— De acción sobre el combustible. Reducción del contenido de azufre y del número de cetano.

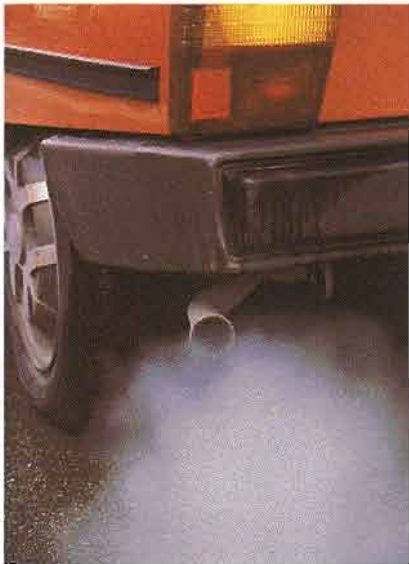
El contenido en azufre del aceite pesado es la causa de la producción del SO₂ irritante. Con una destilación mejor se podría eliminar este elemento, completamente indeseable, en el combustible.

El número de cetano da idea del tiempo necesario para que se produzca la explosión en los motores. A altos números de cetano, el intervalo entre inyección de gasoil y explosión del mismo, es menor. Disminuyendo el número de cetano, se reduce la emisión de humos, puesto que hay más retraso en la explosión y el combustible tiene más tiempo de mezclarse con el aire, evitándose la rotura de cadenas (craqueo) y la aparición de carbón libre. El inconveniente de esta disminución es un aumento de la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x) y, por otra parte, en los actuales motores diésel de altas revoluciones (4.000-5.000), el retardo en la explosión está muy limitado.

— Aplicables sobre los parámetros de diseño. Motores con precámara y sobrealimentados.

La emisión específica de NO_x de un motor con precámara de combustión es menor que la de uno de inyección directa, pues en la precámara, los dosados son más altos. Asimismo, las emisiones específicas de monóxidos

TABLA II			
IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS DISTINTOS CONTAMINANTES EN CADA TIPO DE MOTOR			
CONTAMINANTE	GASOLINA	DIESEL	DIESEL SOBREALIMENTADO
NO _x	Importante	Muy importante	Muy importante
CO	Muy importante	Poco importante	Poco importante
HC	Muy importante	Poco importante	Poco importante
Aldehídos	Poco importante	Importante	Importante
Pb	Importante	Nula	Nula
Oxidos azufre	Poco importante	Importante	Importante
Humos	Poco importante	Importante	Muy importante



de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) son menores en los motores con precámara, pues en éstos se obtiene una mayor homogeneización de los dosados por las turbulencias que se producen.

Al sobrealimentar un motor crecen las presiones y las temperaturas máximas, aumentando la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), aunque este efecto se compensa, en parte, por la disminución del dosado, habitual al sobrealimentar un motor. Las emisiones de hidrocarburos y monóxidos de carbono disminuyen por la mayor turbulencia que se origina y por los procesos de oxidación en el escape, posibles gracias a la mayor temperatura de los gases a la salida del motor.

— Aplicables al proceso de inyección. Avance y presión de inyección.

Una posibilidad para la reducción de contaminantes y del consumo especí-

fico simultáneamente, consiste en el retraso de la inyección desde los 20 grados habituales hasta un máximo de 10 o 12, aumentando simultáneamente la presión de inyección.

— Aplicables al proceso de combustión. Inyección de agua y recirculación de gases de escape.

Ambas posibilidades tienen por finalidad disminuir la presión y la temperatura en el interior del cilindro; con esto se consigue disminuir la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), aunque la potencia del motor se resiente.

Motores de gasolina

— Aplicables sobre el combustible. Reducción del contenido de azufre y del contenido de plomo.

Las gasolinas se obtienen en las primeras etapas de la destilación del petróleo, por eso son tan volátiles y su contenido en azufre es muy inferior al de los aceites pesados. Procesos de destilación perfeccionados reducirían aún más su contenido de azufre.

Si se desea mantener las cualidades antidetonantes del combustible sin necesidad de añadir los aditivos a base de plomo utilizados actualmente, deberá ser aumentando su contenido de hidrocarburos ligeros durante el proceso de destilación. Esto presenta problemas económicos y técnicos pues las propiedades del combustible varían. Así, por ejemplo, la volatilidad aumenta, lo que puede afectar a las prestaciones del motor. Un nuevo diseño del sistema de alimentación podría atenuar estas consecuencias.

— Aplicables al proceso de formación de mezcla. Obtención de una

mayor atomización del combustible, mezcla homogénea y dosado correcto.

Al obtener una elevada atomización del combustible en gotas más pequeñas, se favorece la homogeneización de la mezcla, con lo que disminuyen las emisiones de hidrocarburos sin quemar (HC). Si conseguimos además mantener un dosado próximo al 0,80, las emisiones de monóxido de carbono (CO) y de óxidos de nitrógeno (NO_x) también se ven disminuidas.

Una solución alternativa a la atomización del combustible es su gasificación, pero el combustible gaseoso está restringido actualmente al transporte público.

Siendo preciso pues, atomizar el combustible, una posibilidad estriba en su evaporación previa a la mezcla con el aire, mediante calor cedido del circuito de refrigeración del motor, por ejemplo, o usando resistencias eléctricas.

Con estos sistemas se consiguen reducciones importantes en la emisión de HC, CO y NO_x y en el consumo específico, aunque el motor pierde potencia al disminuir el rendimiento volumétrico.

Para una buena homogeneización de mezcla hay que estudiar el diseño de los colectores de admisión, con el fin de que la mezcla llegue uniformemente a los cilindros y el dosado sea constante para cada uno de ellos. Esto es fundamental con dosados pobres pues pueden acarrear problemas de encendido. Actualmente este problema disminuye con los motores de válvulas múltiples que favorecen el llenado del cilindro.

El dosado correcto es muy difícil de conseguir dada la gran variedad de regímenes en los que actúa el motor. Sin embargo para un régimen estacionario de marcha, la relación combustible-aire óptima es relativamente sencilla de mantener. Así pues, habrá que estudiar métodos de corrección automática e instantánea de la mezcla según las sollicitaciones del motor. Los sistemas de carburación modernos como los carburadores de venturi variable, los carburadores sónicos y los ultrasónicos, han corregido en parte las emisiones de contaminantes al permitir una regulación más pobre del dosado de forma continuada, pero son la regulación electrónica de la carburación y los sistemas de inyección de combustible de reciente diseño, como los K-Jetronic, L-Jetronic y Matronic de Bosch, los que actual-

mente permiten una efectiva regulación de la carburación y una disminución en los contaminantes emitidos.

— Aplicables al punto de encendido y características de chispa.

El retraso en el punto de encendido, acercándolo al punto muerto superior, permite reducir las emisiones de HC y NO_x , pero a costa de una reducción del rendimiento del motor, es decir, aumentando el consumo específico de combustible.

Por otra parte, para que la ignición sea correcta con mezclas pobres, que son más económicas y menos contaminantes, es necesaria una chispa más efectiva. Esto se consigue con bujías de nuevo diseño con cámara de turbulencia, que expulsan cinco chorros simultáneos de mezcla inflamada, con lo que consiguen una combustión más rápida de mezclas más pobres. Asimismo, el encendido electrónico, permite obtener unas descargas más prolongadas, es decir, predominantemente inductivas, que favorecen el proceso de combustión.

— Aplicables al diseño del motor.

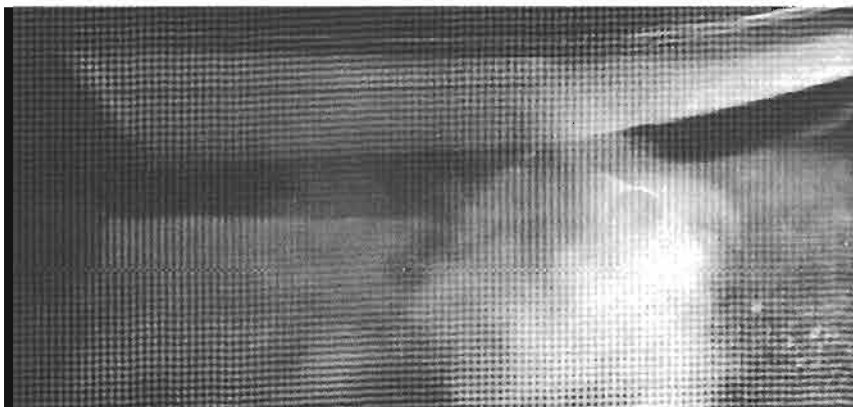
Se han diseñado cámaras de combustión que producen turbulencia en la mezcla como la "Fire-ball" suiza o las de Toyota, y permiten una buena inflamación y combustión para dosados próximos al 0,6, con altas relaciones de compresión y sin que aparezca detonación.

Asimismo, las experiencias desarrolladas en motores con combustión en dos etapas y de carga estratificada, han demostrado una disminución en la emisión de contaminantes, sobre todo de óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO), a costa de un ligero aumento del consumo.

— Aplicables sobre los gases de escape.

En este apartado se tratan los métodos de eliminación de los contaminantes una vez formados y antes de que el motor los expulse a la atmósfera.

• Filtros para eliminar emisiones de plomo. Partiendo de la base de que eliminar o disminuir el contenido de plomo en las gasolinas, va en detrimento de su costo o del rendimiento del motor, las experiencias realizadas por Texaco Oil Co. y Ethyl Corporation, entre otras, sustituyendo el silencioso por una malla de acero inoxidable recubierta de alúmina, aportan una solución válida al reducir las emisiones de plomo entre un 50 y un 75%. Este sistema no afecta al funcionamiento del motor, manteniendo su consumo



específico, y por otra parte el coste del filtro es reducido y su vida operativa bastante alta.

• Reactores térmicos. Consiste en algo semejante a una segunda cámara de combustión donde se oxidan completamente las trazas de CO y HC que quedan después de la combustión en el cilindro del motor. En este proceso de post-combustión, el oxígeno sobrante de la combustión principal en el cilindro, que ha sido alimentado con dosados pobres, sirve para oxidar los productos en el escape. Para ello es necesario mantener el calor en el colector de escape mediante recubrimientos refractarios, y actúan sobre los parámetros que afectan a la transmisión del calor, como el tamaño y geometría del colector y de la válvula de escape, incluso duplicando éstas. El inconveniente de esta oxidación es que afecta también al nitrógeno y favorece la formación de NO_x .

• Reactores catalíticos. La necesidad de eliminar los óxidos de nitrógeno (NO_x), ha obligado a los fabricantes a utilizar reactores catalíticos que lo reduzcan quitándole el oxígeno y dando como producto final Nitrógeno (N_2). Por otra parte, una alternativa a los reactores térmicos es la utilización de un catalizador que oxide el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC).

Los reactores catalíticos pueden actuar, tanto en un sentido como en otro, oxidando o reduciendo, todo depende del elemento del que estén compuestos, pues un catalizador es una sustancia heterogénea, que normalmente incluye metales como platino, iridio, rodio o rutenio. Estas sustancias no forman parte de las reacciones de oxidación y reducción que se verifican en el reactor catalítico, es decir, no se combinan químicamente con los HC, NO_x o CO, pero

"catalizan" o aceleran estos procesos con su sola presencia y en virtud de su energía molecular. Hay elementos, como el platino y el iridio que favorecen la oxidación, o como el rodio y el rutenio que favorecen la reducción. Así pues, un reactor catalítico completo deberá contar con una sección en la que haya platino o iridio, y en ésta se producirá el proceso de oxidación, del CO convirtiéndolo en CO_2 , y de los HC sin quemar, que con aporte de oxígeno se quemarán por completo; también deberá contar con una sección en la que haya rodio o rutenio y en la que se llevará a cabo la reducción, proceso inverso a la oxidación, en la que los óxidos de Nitrógeno (NO_x) perderán el oxígeno transformándose en nitrógeno (N_2).

Si en la reacción de combustión ideal, con dosado estequiométrico que vimos al principio, no había contaminantes, era precisamente porque el oxígeno que necesitaban los HC y el CO para oxidarse, era el mismo que les sobraba a los NO_x . Así pues, alimentando el motor con una relación combustible-aire estequiométrica, al reducirse los NO_x y dejar libre el oxígeno, éste se podrá utilizar en la oxidación de los CO y HC. Este proceso de reducción de los óxidos de nitrógeno (NO_x) se puede efectuar en un reactor catalítico de rodio, y el oxígeno resultante oxidará al monóxido de carbono y los hidrocarburos en otro reactor catalítico de platino.

Este es el fundamento del reactor catalítico, o catalizador, de tres vías, que es el más utilizado, y se denomina así por actuar simultáneamente sobre los tres principales contaminantes.

El único requisito para que sea operativo, es que el dosado de mezcla sea el estequiométrico, es decir, el que químicamente corresponde a una reacción como la presentada en la com-

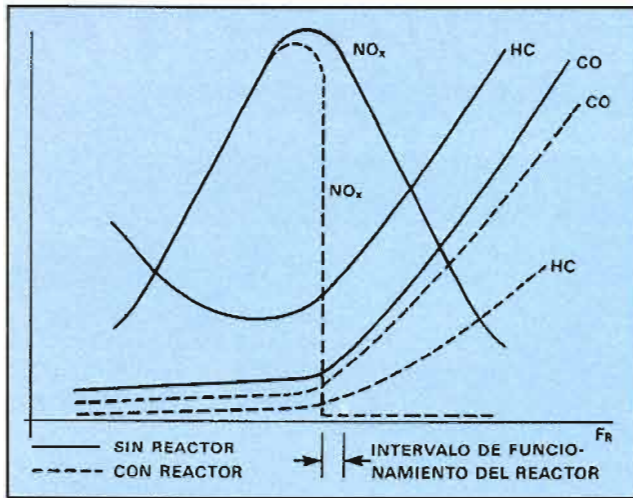


Fig. 5. Efecto del catalizador de tres vías.

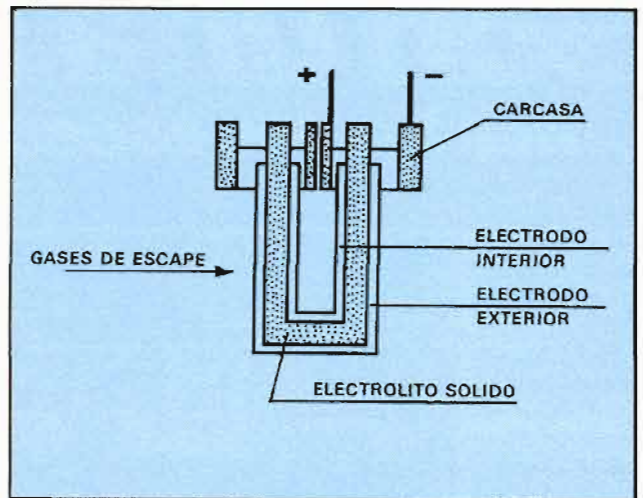


Fig. 6. Esquema del sensor del sistema LAMBDA SOND.

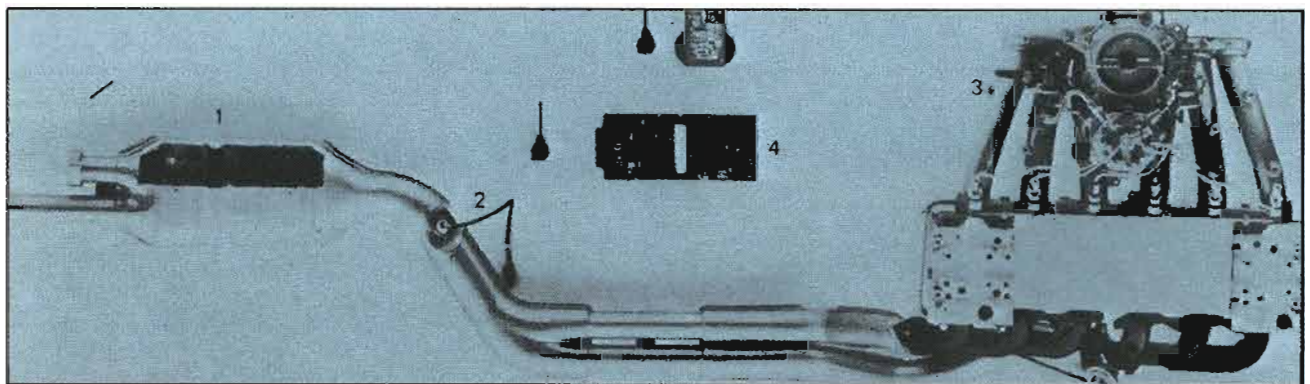


Fig. 7. Principales elementos que componen un sistema de catalizador: catalizador propiamente dicho (1), sonda Lambda (2), sistema de alimentación (3) y sistema de regulación (4). Automecánica, n.º 183.

bustión ideal, que equivale a la mezcla de 1 kg de gasolina por 14,6 kgs de aire. Es preciso pues, instalar a la entrada del reactor catalítico una sonda, llamada sonda Lambda, que mida la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape y envíe una señal al sistema electrónico de inyección para corregir la proporción de combustible en la mezcla.

La figura 5 muestra el pequeño intervalo de dosados en que las emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x) son reducidas, de ahí la necesidad de controlar minuciosamente la concentración de oxígeno (O_2).

En la figura 6 se esquematiza la sonda Lambda, constituida por dos electrodos de platino poroso separados por un electrolito de dióxido de circonio sólido. El electrodo exterior está en contacto con los gases de escape, y el interior, con el aire exterior. La dife-

rencia entre las presiones parciales debidas al oxígeno en ambos electrodos, genera un flujo de iones en el electrolito y una diferencia de potencial en el sensor. Esta diferencia de potencial, o señal eléctrica, se envía al sistema de inyección, que corrige el dosado de la mezcla.

La instalación de reactores catalíticos en el sistema de escape (fig 7) supondrá para el usuario un desembolso adicional de aproximadamente 100.000 ptas. en la compra de un automóvil, teniendo una vida media de 80.000 km, tras de la cual deberá ser sustituido.

Actualmente se investiga en la recuperación de los metales nobles que lo integran para abaratar su coste.

Por otro lado, una gasolina sin plomo que no inutilice los catalizadores, pero que conserve al máximo sus propiedades antidetonantes, es más cara de producir, lo que repercutirá también en el coste del combustible.

Asimismo, la necesidad de mantener un dosado estequiométrico, rebaja el rendimiento del motor, o lo que es lo mismo, aumenta su consumo específico.

No obstante, la puesta en práctica de todas estas medidas contribuiría a la reducción de la contaminación ambiental, con el consiguiente beneficio no sólo del propio usuario, sino también para el conjunto de los habitantes de las grandes poblaciones.

BIBLIOGRAFIA:

1. PAYRI GONZALEZ, FRANCISCO; DESANTES FERNANDEZ, JOSE M.º: "Soluciones a la contaminación de los motores térmicos alternativos de automoción" MOPU-CIMA.
2. LORA SORIA, FEDERICO DE; MIRO CHAVARRIA, JUAN: "Técnicas de defensa del Medio Ambiente". Ed. Labor.
3. CAMPOS MARTINEZ, GLORIA: "Contaminación por gases nitrosos". MAPFRE-ITSEMAP.