

Conferencia No 4

CONTROL DE CONTAMINANTES

CONTENIDO

REACTORES TERMICOS

METODOS DE CONTROL

TRAMPAS O FILTROS

CONVERTIDORES CATALITICOS

BIBLIOGRAFIA

Descripción

En el siguiente material se presenta un resumen de las técnicas de control de contaminantes empleadas en motores alternativos para disminuir al máximo la expulsión de compuestos químicos. En vista de que los estudios sobre reacciones químicas revelan que estos compuestos químicos son el resultado de reacciones incompletas ya sea por falta de altas temperaturas, falta de oxígeno o falta de tiempo para que finalice la misma se describen dos métodos de control: térmico y catalítico. Considerando que en el interior de la cámara de combustión el control de contaminantes tiene limitaciones se plantean finalmente las características más importantes sobre los métodos térmicos y catalíticos de control de contaminantes empleados comúnmente en motores alternativos. Con referencia a estos controles externos se presentan algunos resultados gráficos de investigaciones que revelan la reducción de contaminantes después de un proceso químico de transformación.

Objetivos

- Complementar el conocimiento teórico impartido en clase.
- Introducir al estudiante en el cálculo teórico de la composición química de los productos de la combustión.
- Instruir al estudiante en los aspectos relacionados con controles internos y externos de expulsión de contaminantes.
- Introducir al estudiante sobre la necesidad de emplear métodos que disminuyan la presencia de compuestos químicos dañinos en los gases de escape de MCI.A.

Contenido

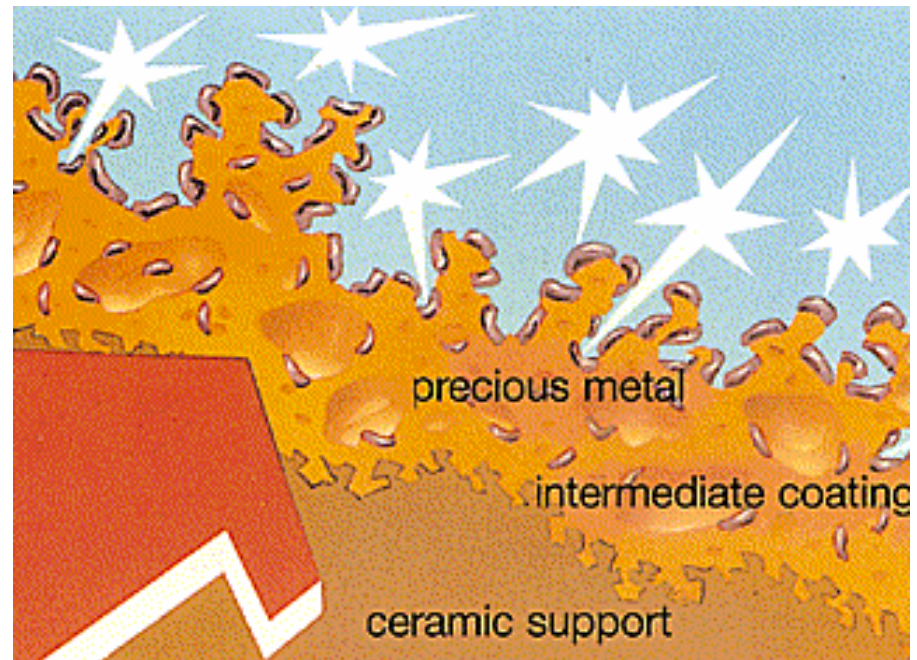
- Métodos de control para la formación de contaminantes
 - Convertidores catalíticos
 - Descripción, eficiencia, características
 - Para el HC y CO
 - Para el NO
 - Para el HC, CO y NO
- Convertidores catalíticos de tres vías
 - Descripción
 - Funcionamiento
 - Sensor lambda
 - Voltaje de salida
 - Lazo de control
- Reactores térmicos
- Trampas o filtros

Tratamiento de los GE

- Para mayor reducción de los contaminantes en los GE es necesario trabajar en el sistema de escape.
 - Convertidores catalíticos
 - Para el HC y CO.
 - Para los NO_x .
 - Para el HC, CO y NO_x .
 - Reactores térmicos para el HC y CO.
 - Trampas o filtros para partículas.
- Los medios térmicos dependen de:
 - Tiempo de residencia ($\cong 50$ ms)
 - Altas T (> 600 C). En MECH $\cong (400-600)$ C. En MEC $\cong (200-500)$ C debido a $\phi < 1$.
- El caso catalítico permite trabajar con T mas bajas. Ej: para el CO y HC se requieren T $\cong 250$ C, el NO T < 400 C.
- Los filtros o trampas necesitan quemar continuamente las partículas ya que aumentan la p de escape.

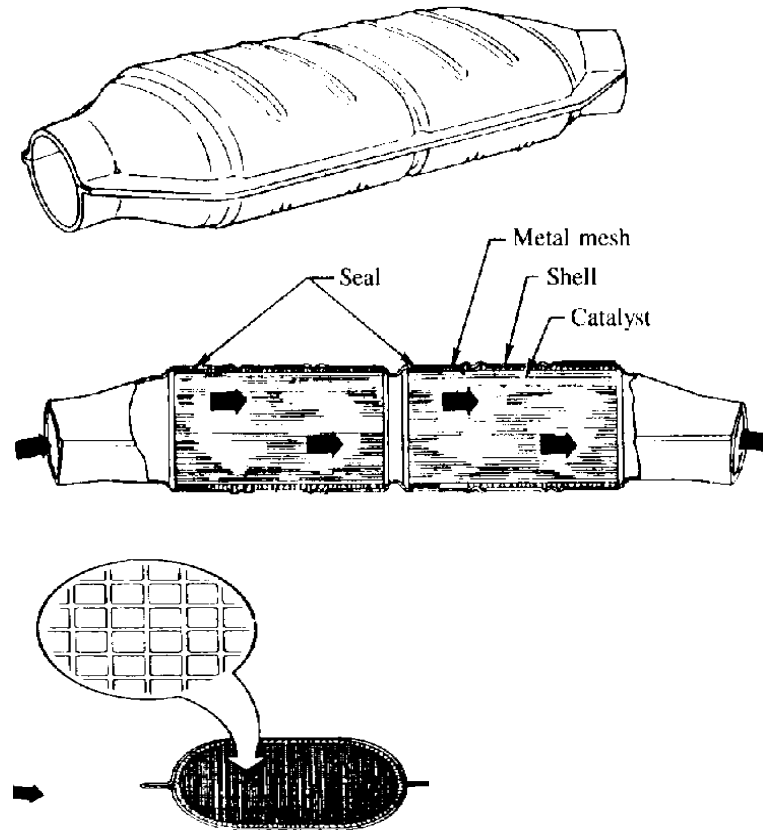
Estructura interna de un convertidor catalítico

- Los convertidores catalíticos están formados por un material catalítico activo (metales nobles) distribuido en una gran superficie de manera que permita el proceso de absorción con una eficiencia cercana al 100%.
- Una estructura cerámica le sirve de soporte.



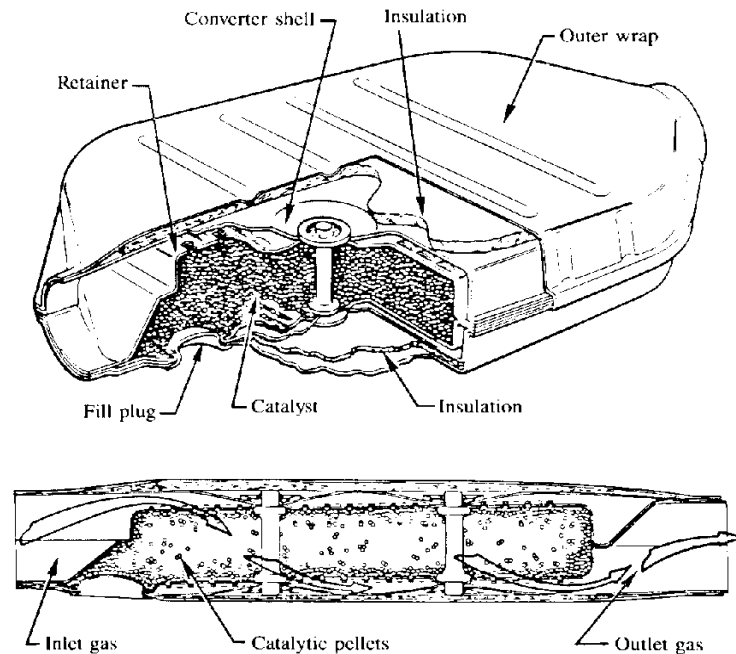
Convertidores catalíticos

- Carcaza de metal conteniendo el metal noble, distribuido de manera que la reacción química ocurra con alto % de conversión.
- Una bloque cerámico tipo colmena de abeja recubierto con el material catalítico y con pasajes separados por paredes muy delgadas.



Convertidores catalíticos

- Otros diseños utilizan esferas de cerámica impregnadas con alúmina, para tener gran área de contacto con los gases de escape.



Convertidores catalíticos

- La eficiencia del catalizador mide la cantidad de material contaminante que es atrapada al pasar a través del convertidor.

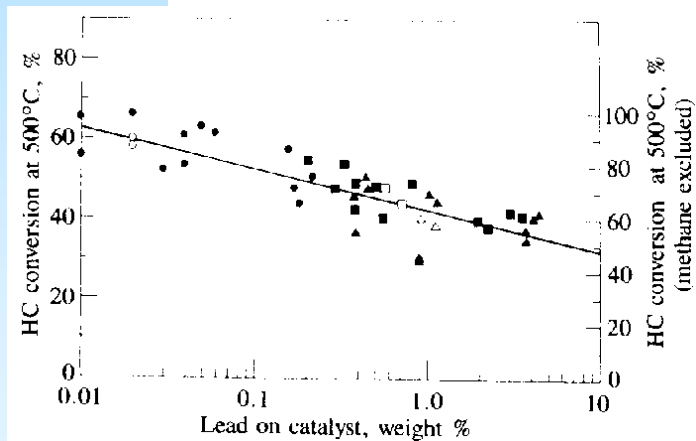
$$\eta_{\text{Cat}} = \frac{\dot{m}_{\text{HC,e}} - \dot{m}_{\text{HC,s}}}{\dot{m}_{\text{HC,e}}}$$

- Son eficientes a alta T necesitando $T_{\text{mín}} \cong (250 - 300) \text{ C}$ para empezar su actividad química de reducción.
- Es deseable la alta velocidad de respuesta o sea baja inercia térmica ($< 60 \text{ s}$)
- Deben montarse en sitios donde la $T_{\text{mín}}$ se alcance rápidamente, pero debe considerarse que la degradación térmica aumenta con T.
- Con el uso el catalizador va saturando el reactivo químico, empeorando cuando el combustible posee plomo ya que se acelera su deterioro y se bloquea física o químicamente la acción del reactivo.

Convertidores catalíticos

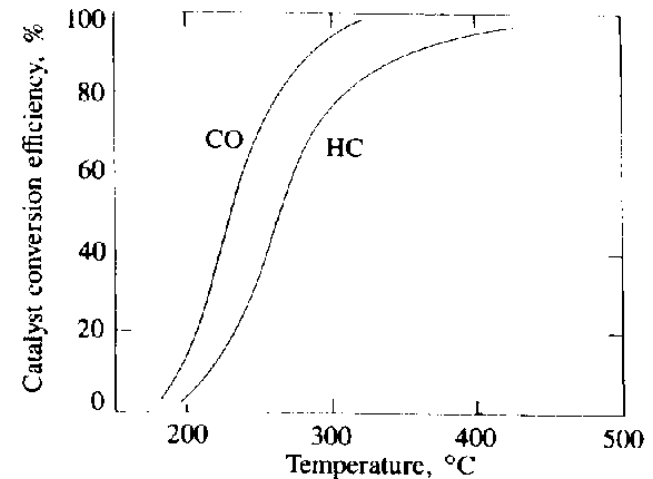
Eficiencia del catalizador.

$$\eta_{\text{Cat}} = \frac{\dot{m}_{\text{HC,e}} - \dot{m}_{\text{HC,s}}}{\dot{m}_{\text{HC,e}}}$$



$T_{\text{mín}}$ de arranque.

$$T_{\text{mín}} \cong (250 - 300) \text{ C}$$

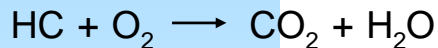
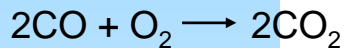


Oxidación catalítica de: HC, CO y NO

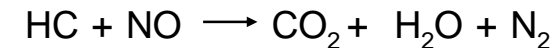
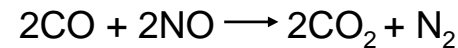
- Para reducción del HC y CO:
 - Suministrar suficiente O_2 para completar la oxidación de los HC y el CO (trabajando con mezclas muy pobres o suministrando aire en el sistema de escape).
 - Para los HC se usan mezclas de platino (Pt) y paladio (Pd).
 - Para el CO se prefiere el paladio (Pd).
 - La acción catalítica es superficial se utilizan capas finas de pt o pd sobre $\gamma-A_2O_3$ para prevenir el contacto partícula-partícula.
- Para reducción del NO:
 - Se usa el CO, HC y H_2 de los GE.
 - Se logra primero trabajando el motor con mezclas ricas y luego suministrando suficiente aire para completar la remoción del CO y HC restantes.
 - Se utilizan catalizadores como CuO, NiO con $T \cong (350 - 600) C$ y metales nobles como Pt, Pd, Rd.

Conversión catalítica del HC, CO y NO

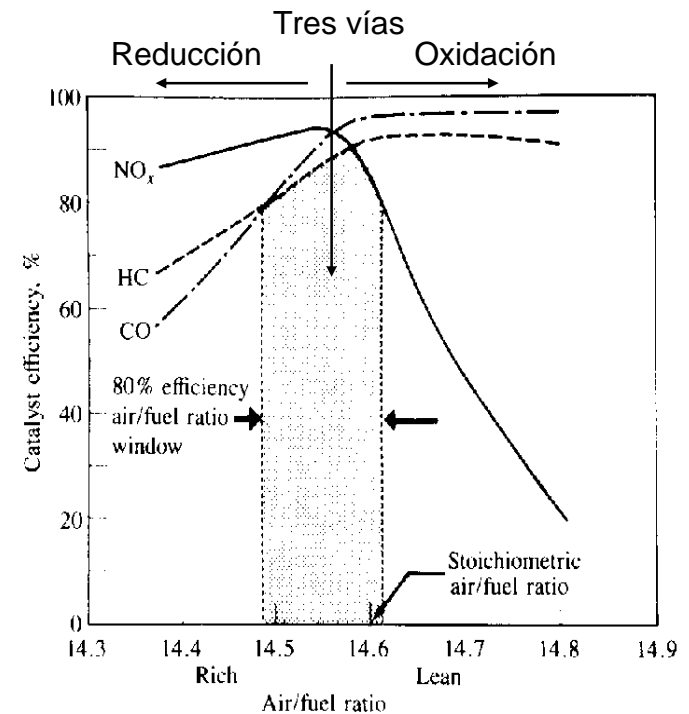
Oxidación



Reducción / Tres vías



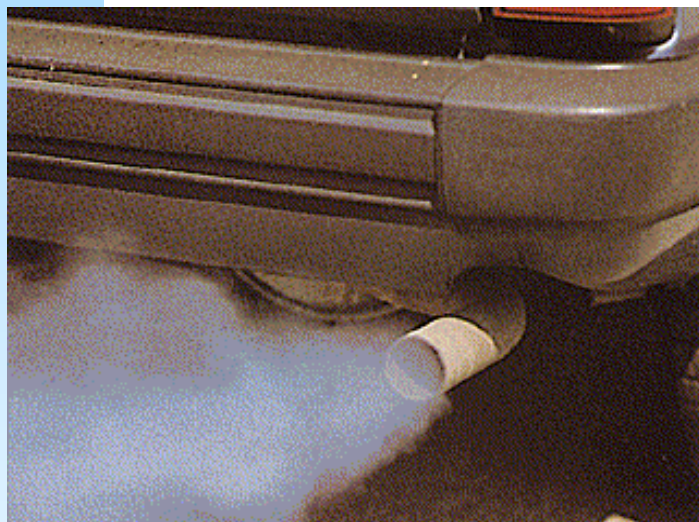
- El grafico muestra máxima conversión del NOx cuando el motor trabaja con mezclas ricas y la máxima conversión del HC y CO ocurre con funcionamientos ligeramente empobrecidos, existiendo una zona muy estrecha donde el convertidor tiene su operación óptima.
- El convertidor puede operar como medio oxidante, reductor o tres vías si es acondicionado adecuadamente.



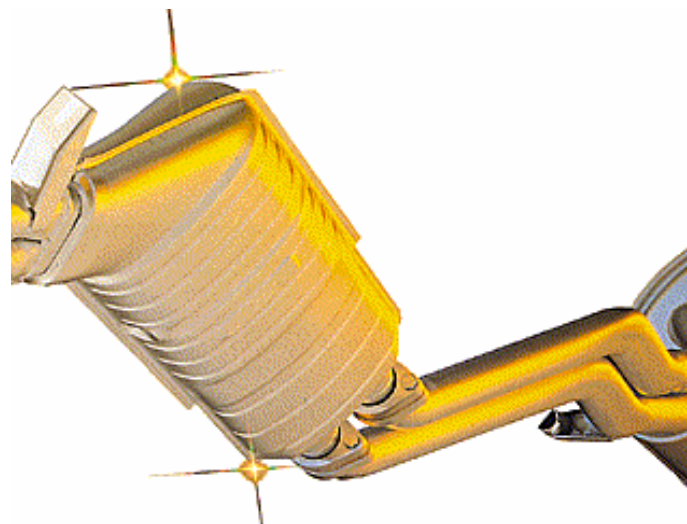
Convertidor catalítico de tres vías: HC, CO y NO

- El MCIA debe operar con $\phi \cong 1.0$ para reducir al mismo tiempo el NO, CO y HC en un convertidor simple, expulsando solo CO₂, H₂O y N₂.
- La presencia del CO reduce el NO y se debe proporcionar O₂ para completar la oxidación del CO y HC.
- Se requieren sistemas de combustible sofisticados que trabajan con un sensor de O₂ que indica la operación del motor alrededor de $\phi = 1$. ajustándolo al valor deseado.
- Las variaciones cíclicas en la composición de los GE, alrededor de $\phi = 1.0$, requieren que el catalizador controle el NO cuando existe ligero exceso de aire y el CO y HC cuando existe deficiencia de aire.
- Utilizan Rd para reducir el NO y Pt para reducir el CO y HC.
- Ha mostrado buenos resultados debido al funcionamiento adecuado en condición estable y a la habilidad del catalizador para efectuar reacciones químicas de oxido-reducción.

Sistema de escape y convertidor catalítico

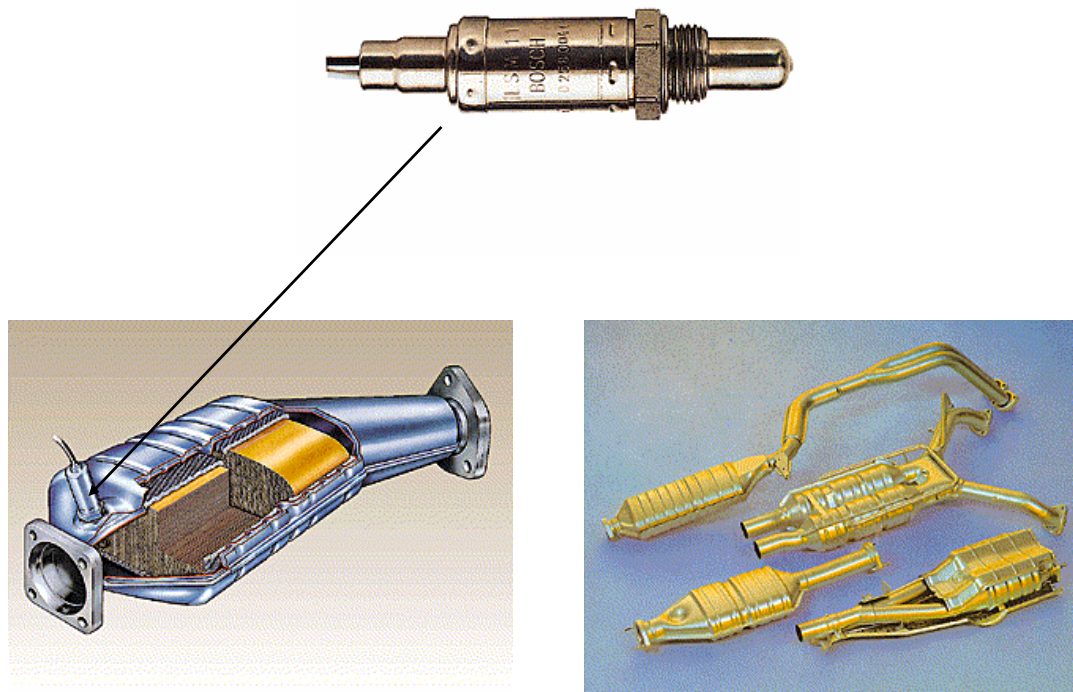


Convertidor catalítico



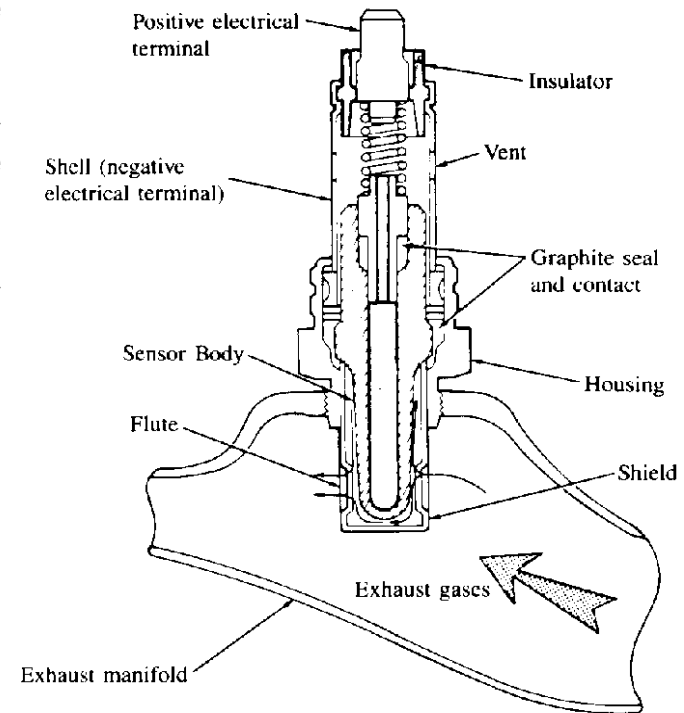
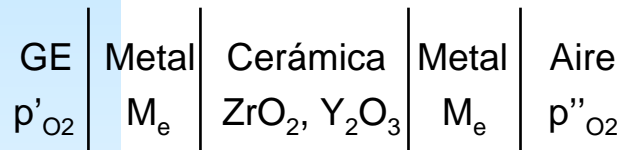
Silenciador

Sensor Lambda y convertidor catalítico

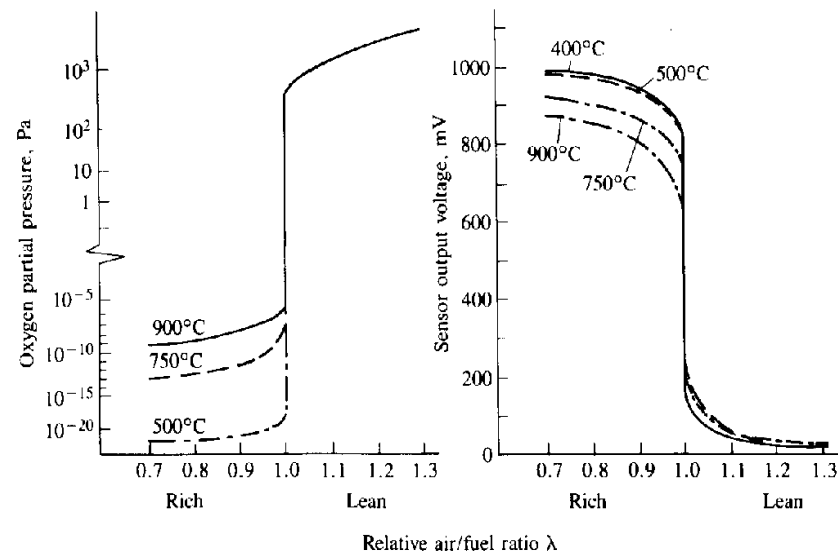


Sensor Lambda

- Este sensor es una celda de concentración de oxígeno con un electrolito sólido a través del cual la corriente es llevada por los iones de oxígeno.
- Una representación de la celda es la siguiente:

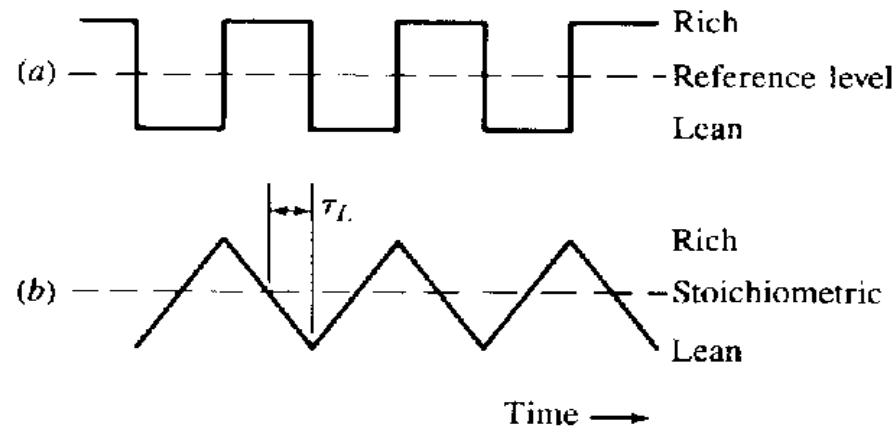


Señal de respuesta de un sensor Lambda



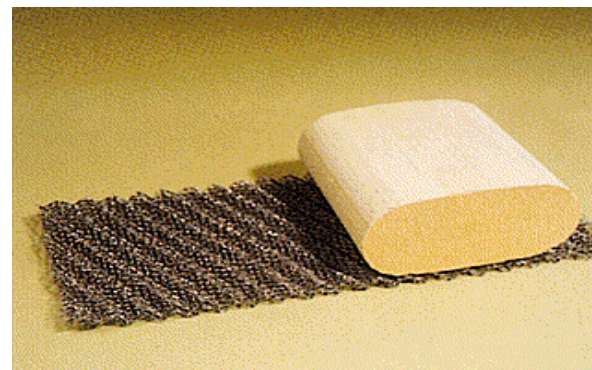
La variación de la presión parcial del O_2 con los cambios de ϕ desde 0.99 a 1.01 ocasionan que el voltaje de salida del sensor incremente rápidamente durante esta transición y debido a su independencia respecto a T se utiliza esta señal como sistema de retroalimentación.

Lazo de control de un sensor Lambda



- Los sistemas de retroalimentación de lazo cerrado utilizan el punto medio de la transición para realizar el control (a).
- Sin embargo la demora entre el suministro de combustible al sistema de admisión y su paso al sistema de escape ocasionan oscilaciones en la riqueza a pesar de las condiciones estables del lazo de control (b).

Carcaza y bloques de convertidor catalítico

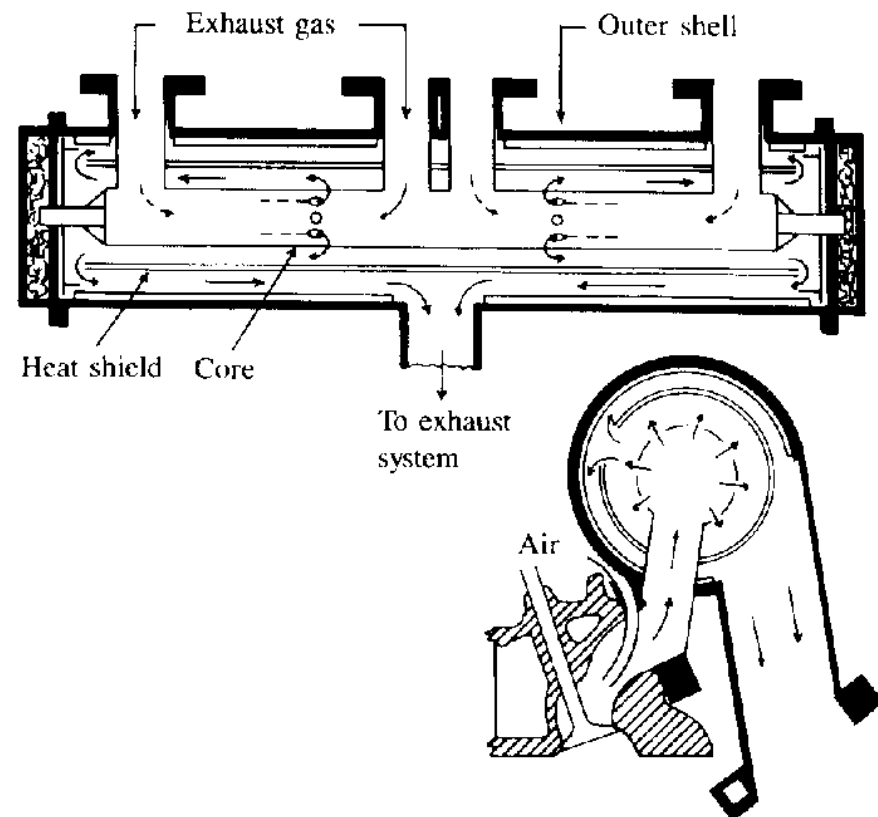


Reactor térmico

- Debido a que CO y HC son productos de combustión incompleta se puede completar su oxidación en un recipiente a alta T y con suficiente aire.
- La T requerida es $\cong (600 - 700)$ C, por lo cual es necesario disminuir las pérdidas de calor, aumentar el tiempo de residencia y bajar la inercia térmica del material.
- La efectividad del reactor depende de: T de operación, disponibilidad de O₂ y volumen del reactor.
- La T de operación depende de: T de GE, el calor perdido y los moles de H₂, HC y CO quemados.
- Su limitación es conseguir un mezclado adecuado, ya que el aumentar la riqueza ocasiona aumentos en la presión de escape que impiden la entrada del aire, por lo cual nunca se consigue un 100% de oxidación del CO y HC.

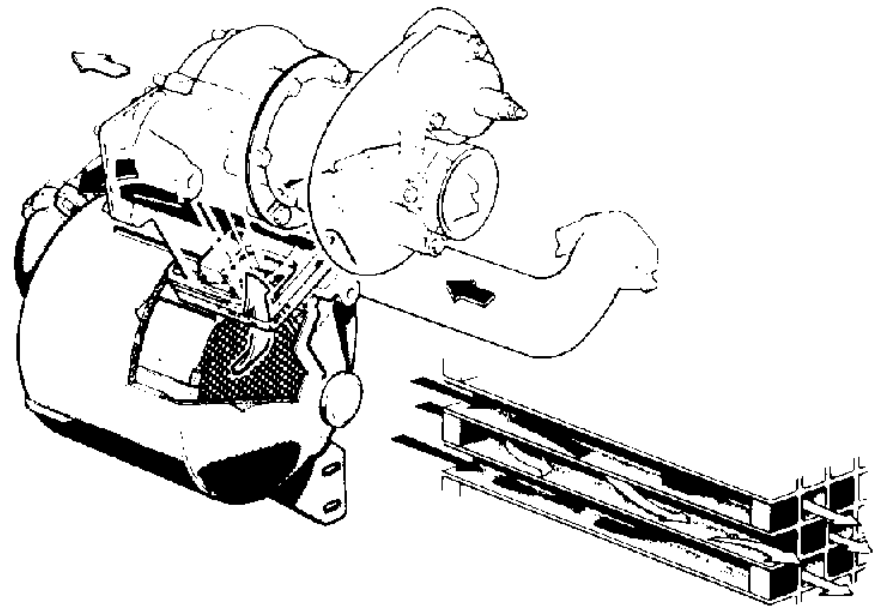
Reactor térmico

- Aislamiento térmico.
- Tiempo de residencia.
- Inercia térmica.
- Efectividad:
 - T de operación
 - Oxígeno
 - Tamaño



Partículas - Trampas

- Se utilizan filtros o trampas.
- La T_{GE} es menor que la requerida, (500 - 600) C, para la oxidación de las partículas, utilizándose la regeneración positiva y catalítica.
- El aumento de p escape requiere aumento del consumo de combustible para compensar la pérdida de potencia, esto ocasiona aumentos en T_{GE} y puede hacer que la trampa se auto-regule.



Referencias bibliográficas

- Benson, R. S., Advanced Engineering Thermodynamics. 1977
- Desantes, J. M. y Lapuerta, M., Fundamentos de Combustión. Universidad Politécnica de Valencia., 1991.
- Heywood, J. B., Internal Combustion Engines Fundamentals. Mc. GrawHill 1988.
- Jovaj, M.S., Motores de Automóvil. Editorial MIR. 1982.
- Kuo, K. K., Principles of Combustion. John Wiley & Sons. 1986.
- L. R. Lilly., Diesel Engine Reference Book. 1985.
- Motores Diesel. Editorial Blume. Segunda Edición. 1973.
- Obert, E. F., Motores de Combustión Interna. 1980.
- Lapuerta, M. A. y Hernández J. J., Tecnologías de la Combustión. Universidad Castilla de la Mancha. 1998.
- Lukanin, V. N., Motores de Combustión Interna. Editorial MIR 1982.
- Salvi, G., La Combustión Teoría y Aplicaciones. Editorial Dossat. 1984.
- Taylor, C. F., The Internal Combustion Engine. 1961.