

13
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES
A LA ATMOSFERA EN FUENTES MOVILES

T E S I S
Que para obtener el Título de:
INGENIERO PETROLERO
p r e s e n t a

JUAN JOSE MENDOZA SALGADO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1994



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCION
60-I-001

SR. JUAN JOSE MENDOZA SALGADO
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Ramón Edgar Domínguez Betancourt, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero petrolero:

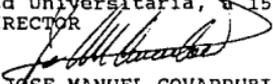
**CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA EN FUENTES
MOVILES**

I	INTRODUCCION
II	LEGISLACION AMBIENTAL
III	TOXICOLOGIA INDUSTRIAL
IV	PROBLEMA DE LA CONTAMINACION EN LA CIUDAD DE MEXICO
V	ORIGEN DE LAS EMISIONES
VI	ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES
VII	SISTEMAS DE PURIFICACION DE EMISIONES
VIII	DISEÑO DE CONVERTIDORES CATALITICOS
IX	EVALUACION DE CAMPO
X	CONCLUSIONES
XI	APENDICE
	BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 15 de enero de 1993
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS*EGLM*gggt*

J.

Este libro es para muy pocos; quizá solo sea para cuatro personas; ya que hace muchos años, concerté una cita con el destino, y hoy ha llegado el momento de cumplir con esta promesa.

Estimados Padres:

Un día vinieron a verme mientras tallaba una figura en madera, y me dijeron, ¿por qué no nos haces algo ?

Les pregunte que querían, y respondieron "una caja"

¿Para que ? - pregunte -

para poner cosas en ella

¿Que cosas ?

Todo lo que tengas, respondieron.

Bien, aquí tienen la caja que querían. He puesto en ella casi todo lo que yo tenía, y todavía no está llena. Hay en ella dolor, sentimientos, buenos y malos, pensamientos buenos y también malos..., el placer de construirla, algo de desesperación y el gozo indescriptible de la creación. Y por encima de todo, la gratitud y la admiración que siento por ustedes. Y todavía la caja no está llena.

Por esto y por el futuro que se contempla.....

MUCHAS GRACIAS.

Carlos Mendoza
Gudelia Salgado
Lourdes Mendoza
Cynthia Rojas

**CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA
EN FUENTES MOVILES**

CONTENIDO	Pág.
I INTRODUCCION	
I.1 Objetivos y Alcance.	04
II LEGISLACION AMBIENTAL	
II.1 Normas Oficiales Mexicanas en Diferentes Combustibles.	05
II.2 Normas Técnicas Ecológicas Extranjeras.	12
II.3 Comparacion de Normas Mexicanas con Normas Extranjeras.	13
III TOXICOLOGIA INDUSTRIAL	
III.1 Conceptos Básicos.	14
III.2 Fase Toxicocinética	18
IV PROBLEMA DE LA CONTAMINACION EL LA CIUDAD DE MEXICO	
IV.1 Calidad del aire en la Zona Metropolitana.	24
Principales Contaminantes.	26
Ubicación y condiciones meteorológicas de la Ciudad de Mexico.	34
Normas y Criterios de la Calidad del Aire.	36
Efectos de la Contaminación.	39
IV.2 Procesos Urbanos y Emisión de Contaminantes.	41
Industria.	41
Establecimientos de Servicios.	42
Generación de Energía Eléctrica.	42
Producción y Distribución de Combustibles.	43
Transporte.	43

V	ORIGEN DE LAS EMISIONES	
	V.1 Tipos de Motores en los Automoviles.	45
	V.2 Composición y Naturaleza de los Gases del Automovil.	63
	Monóxido de Carbono.	68
	Hidrocarburos.	68
	Oxidos de Nitrogeno.	68
	Bioxido de Azufre.	69
	Particulas.	69
	V.3 Comparacion del Grado de Contaminantes en Diferentes Combustibles.	72
	Gasolina.	
	Gas L.P. o Licuado.	
	Diesel.	
VI	ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES	
	VI.1 Metodos para Mejorar la Combustion.	78
	VI.2 Sistemas de Control en las Emisiones.	80
	VI.3 Caracterización de los Diferentes Combustibles.	81
	Gasolina.	85
	Diesel	88
	Gas L.P. o Licuado.	89
	VI.4 Uso y Composición de Aditivos.	90
	VI.5 Dispositivos Posteriores a la Combustion.	91
VII	SISTEMAS DE PURIFICACION DE EMISIONES	
	VII.1 Tipos de Convertidores	92
	Metales Nobles o de Transición (Pt.Pd.Rh.Ir).	92
	Metales Transición (Co.Cu.Cr.Fe.Mn.Ni.V).	94
	VII.2 Oxidacion y Reduccion de los Contaminantes Vehiculares.	96
	VII.3 Cinética y Mecanismos de Reaccion.	100

VIII	DISEÑO DE CONVERTIDORES CATALITICOS	
VIII.1	Convertidores de doble y Triple Cámara	103
VIII.2	Comparación Entre los Diferentes Tipos de Convertidores: Ventajas y Desventajas.	105
VIII.3	Parametros Importantes en la Operación de un Convertidor Catalíticos.	111
IX	EVALUACION DE CAMPO	
IX.1	Evaluación en las Formulaciones a Nivel Laboratorio	113
IX.2	Evaluación en Motores de Banco	120
X	CONCLUSIONES	130
XI	APENDICE	132
	BIBLIOGRAFIA	137

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCION

La contaminación del aire en la Ciudad de México ha aumentado con el crecimiento mismo de la ciudad, con el de su población, los empleos generados por la industria y los desplazamientos de sus habitantes. El principal factor que explica la emisión de contaminantes en la Ciudad es el consumo de energía; por tanto, se necesita considerar el desarrollo económico de la Ciudad y sus perspectivas y al mismo tiempo, las relaciones tecnológicas para el bienestar y el consumo de energéticos.

La contaminación del aire en esta Ciudad, debido al polvo de las tolvaneras y otras partículas suspendidas en el aire, es un fenómeno antiguo. Sin embargo, el problema de contaminación tal como hoy lo conocemos, se origina con el crecimiento de la industria, el transporte y la población, hace aproximadamente 40 años.

Sin embargo, el nivel de bienestar que se ha alcanzado en la Ciudad de México, implica un uso de energéticos que necesariamente afecta la calidad del aire. Asimismo, las tendencias en el crecimiento de la contaminación son tan aceleradas, que la Ciudad necesita actuar con mayor rapidez desde dos puntos de vista: la transformación de una base económica, a partir de actividades no contaminantes las cuales sustituyan a las antiguas industrias de acuerdo con una estrategia integral, frenando las tendencias de crecimiento de la contaminación por medio de la incorporación de avances tecnológicos en lo referente a la producción de sus procesos o productos; y, por otra parte, mejorar los combustibles controlando las emisiones de los vehículos y protección de las zonas boscosas.

El ritmo del aumento de la contaminación ha sido demasiado alto. La tendencia durante la última década es tan considerable que en los próximos diez años se podría duplicar el volumen de contaminación global; por lo que es necesario considerar las graves consecuencias que esto tendrían para los habitantes de la Ciudad de México.

Debido a la situación geográfica de la Ciudad, las condiciones climatológicas, su gran densidad demográfica e industrial y la falta de programas coherentes para controlar las emisiones a la atmósfera se presentan niveles altos de concentración de contaminantes en el aire, calculando que la

cantidad de contaminación emitida a la atmósfera en la Ciudad de México Y Area Metropolitana es aproximadamente de cuatro y medio millones de toneladas al año.

Los contaminantes atmosféricos considerados en las normas de calidad del aire en varios países son: bióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, oxidantes fotoquímicos y óxidos de nitrógeno.

La emisión de contaminantes atmosféricos por la actividad humana en las ciudades puede ser producida por dos tipos de fuentes: Móviles, las cuales se encuentran todos los tipos de vehículos automotores: y Fijas, que incluyen desde las industrias más contaminantes y productivas hasta los pequeños establecimientos o grandes centros comerciales. En la siguiente tabla se aprecia que el 81% de la masa total de contaminantes emitidos a la atmósfera es aportado por las fuentes móviles, lo que muestra en forma contundente de como dichas fuentes contribuyen en mucho sobre el problema mencionado.

CONTAMINANTE	FUENTES FIJAS		FUENTES MOVILES		TOTAL TON/AÑO
	TON/AÑO	%	TON/AÑO	%	
Partículas	141.000	16	12.800	0.3	153.800
Monóxido de Carbono	120.000	13	3'600.000	89.0	3'720.000
Hidrocarburos	140.000	16	385.000	9.5	525.000
Bióxido de Azufre	400.000	45	11.000	0.3	411.000
Oxidos de Nitrógeno	93.000	10	39.000	0.9	132.000
	894.600		4'047.800		4'941.000

Fuente: Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)
Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica
Octubre 1993

Es necesario tener conciencia de la magnitud del problema, del riesgo y de sus proyecciones, pues de otra manera se podría caer al grave error de pensar en una sola acción, ejecutada durante un breve tiempo o por un solo sector de la sociedad. Como es sabido, las decisiones precipitadas sólo debilitarán la estrategia global y el incumplimiento, junto con la responsabilidad echaría por la borda el esfuerzo de los demás. Solo a partir de un análisis objetivo y científico, que evalúe permanente los resultados e incorpore las innovaciones tecnológicas, se logrará mantener ese esfuerzo.

Frenar el crecimiento de la contaminación será un compromiso social y público, no existe, en este momento, ninguna ciudad en vías de desarrollo que esté realizando un esfuerzo de esta magnitud; incluso pocas ciudades de países desarrollados han comprometido acciones con propósitos equivalentes. Sin embargo, nuestro referente no es hacer más que otros, sino hacer lo que sea necesario por frenar realmente la contaminación.

Es conveniente señalar que los conocimientos y conceptos utilizados para la elaboración de esta tesis, comprenden las áreas de Seguridad Industrial, Química Para Ingenieros Petroleros y los conceptos básicos de Ingeniería Petrolera.

I.1 Objetivos y Alcance

El presente trabajo, es el resultado de una investigación de manera conjunta entre las instituciones involucradas en materia de protección ambiental, como son: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Departamento del Distrito Federal (DDF), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) e Instituciones Privadas que participan en proyectos afines; así de manera integral, se pretende el desarrollo de tecnología mexicana para la construcción de convertidores catalíticos o tecnología que contribuya al abatimiento de la contaminación en materia de emisiones contaminantes a la atmósfera por fuentes móviles o fijas.

El objetivo principal de este trabajo, es dar a conocer el funcionamiento real de un convertidor catalítico para la reducción de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en motores a gasolina o gas LP, utilizando metales como el platino, paladio y rodio principalmente así como metales alternos como níquel, hierro, cobre, vanadio entre otros.

Es por ello que se pretende impulsar el desarrollo de tecnologías bajo una relación costo beneficio adecuado y de ser posible la realización de prototipos usando tecnología disponible y aplicable en México.

Este trabajo, no pretende añadir dispositivos alternos al automóvil, solo dar a conocer el funcionamiento actual de los vehículos a gasolina y gas LP y las posibles mejoras que pudieran darse al respecto, así como las alternativas para que este sea más eficiente en el consumo de combustible y con ello se tenga un abatimiento de contaminantes a la atmósfera de manera considerable.

Además del objetivo principal, se pretende como un objetivo secundario, la compilación bibliográfica en materia de control ambiental con la intención de conocer las investigaciones, tecnologías y logros que hay mundialmente en este concepto.



CAPITULO II

***LEGISLACION
AMBIENTAL***

CAPITULO II
LEGISLACION AMBIENTAL

II.1 Normas Oficiales Mexicanas en Diferentes Combustibles

Para que una sociedad actúe y conozca cuáles son los derechos y obligaciones que a ella competen, es necesario establecer lineamientos que permitan la aplicación de leyes y bases jurídicas en lo concerniente a la protección ambiental.

Es por ello que el 1o de marzo de 1988 entró en vigor la Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente que se publicó el 28 de Enero en el Diario Oficial de la Federación, en dicha ley se prevé que para controlar las emisiones deberán observarse las Normas Técnicas Ecológicas a fin de asegurar la calidad del aire satisfactoriamente.

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES EN MOTORES DE GASOLINA

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-003-ECOL/1993 que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan Gasolina como combustible.

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION

Año - Modelo del vehículo	Monóxido de Carbono % Vol.	Hidrocarburos ppm	Oxígeno % Vol.
1979 y Anteriores.	6.0	700	6.0
1980 - 1986	4.0	500	6.0
1987 - 1993	3.0	400	6.0
1994 y Posteriores.	2.0	200	6.0

En lugares con altitud menor a 1500 metros sobre el nivel del mar, los niveles máximos permisibles de emisión en modelos de los años 1979 y anteriores son 5.5 vol. de CO y 650 ppm de HC

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-004-ECOL/1993, que establece los niveles maximos permisibles de emision de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape de los vehiculos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas l.p. gas natural y otros combustibles con peso bruto vehicular de 400 a 3.857 Kg.

TABLA 1. Automoviles que usan gasolina, gas l.p., gas natural y otros combustibles alternos

AÑO - MODELO DEL VEHICULO	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION g/Km*			
	HC	CO	NOx	g/prueba
1993	0.25	2.11	0.62	-----
1994	0.25	2.11	0.62	-----
1995 en adelante	0.25	2.11	0.62	2.0**

* gramos de contaminante por kilometro recorrido.

** Certificado por metodos, procedimientos y combustible establecidos por la EPA de los Estados Unidos de América, en tanto no se tenga el laboratorio en nuestro país.

TABLA 2. Camiones comerciales, ligeros y de usos utilitario hasta 3.875 kg. de peso bruto vehicular que usan gasolina, gas licuado del petróleo, gas natural y otros combustibles alternos.

AÑO - MODELO	NIVELES MAXIMO PERMISIBLES DE EMISION g/Km*			
	HC	CO	NOx	g/prueba
1994	0.63	8.75	1.44	----
1995 en adelante	0.63	8.75	1.44	2.0**

* gramos de contaminante por kilometro recorrido

** Certificado por lo metodos, procedimientos y combustible establecidos por la EPA de los Estados Unidos de America en tanto no se tenga el laboratorio en nuestro país.

DEFINICIONES

Camión comercial

El vehículo automotor con o sin chasis para el transporte de efectos o de más de 10 personas, con peso bruto vehicular de hasta 2.727 kilogramos.

Camión ligero

El vehículo automotor con o sin chasis para el transporte de efectos o de más de 10 personas, con peso bruto vehicular de 2.727 y hasta 7.272 kilogramos.

Vehículo de uso múltiple o utilitario

El vehículo o automotor con o sin chasis de camión para el transporte de efectos o hasta de 10 personas, con peso bruto vehicular de más de 2.727 kg.

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-014-ECOL/1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos automotores en circulación, que usan gas licuado del petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible.

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE CO, HC, O₂ Y NIVELES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE DILUSIÓN

AÑO - MODELO DEL VEHICULO	Monóxido de Carbono % Vol.	Hidrocarburos ppm	Oxígeno % Vol.	Dilusión (CO + CO ₂)	
				Mín	Máx
1979 y anteriores	6.0	700	6.0	7.0	18.0
1980 - 1986	4.0	500	6.0	7.0	18.0
1987 - 1993	3.0	400	6.0	7.0	18.0
1994 Y posteriores	2.0	200	6.0	7.0	18.0

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES EN MOTORES DIESEL

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-007-ECOL/1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizan para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3.857 kilogramos.

TABLA No. 1 MOTORES UTILIZADOS EN VEHICULOS CON PESO BRUTO VEHICULAR MAYOR A 3.857 Kg. QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.

AÑO-MODELO DEL MOTOR	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION g/bhp-h*			
	HC	CO	NOx	PST
1993**	1.3	15.5	5.0	0.25
1994 - 1997				
- Autobus Urbano extra-pesado.	1.3	15.5	5.0	0.07
- Autobus Urbano mediano-pesado. ligero-pesado	1.3	15.5	5.0	0.10
1998 en adelante				
- Autobus urbano extra-pesado.	1.3	15.5	4.0	0.05
- Autobus urbano mediano-pesado. ligero-pesado.	1.3	15.5	4.0	0.10

* Gramos de contaminante por caballo de fuerza de potencia al freno por hora.

** Para los motores 1993 se considerará la clasificación año-calendario a partir del día de enero de 1993 y años posteriores.

Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-008-ECOL/1993 que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan Diesel como combustible, con excepción de motores estacionarios, marinos, de aviación, de locomotoras, de tractores agrícolas y de maquinaria para construcción.

FLUJO NOMINAL DEL GAS l/s	COEFICIENTE DE ABSORCION m-1
30 - 65	2.43
70	2.35
75	2.28
80	2.20
85	2.13
90	2.07
95	2.00
100	1.94
105	1.87
110	1.81
115	1.75
120	1.70
125	1.64
130	1.58
135	1.53
140	1.48
145	1.43
150	1.38
160	1.28
170	1.18
180	1.09
190	1.01
200 - 250	0.92

Para el cálculo de flujo nominal (G) se aplican las siguientes formulas:

$G = V \text{ (RPM)} / 60$ para motores de dos tiempos

$G = V \text{ (RPM)} / 120$ para motores de cuatro tiempos

V : Desplazamiento del motor en litros

G : Flujo nominal del gas, expresado en litros por segundo (l/s), para motores de aspiración natural y turbocargados

Concentración De Partículas	Unidad de densidad gravimetrica con la que se puede medir la opacidad del humo y se expresa en gramos por metro cúbico (g/m ³). Por equivalencia se equiparan a las unidades Hartridge.
Flujo Nominal	Flujo de gases que sale por un tubo de escape, expresado en (l/seg.)
Opacidad	Estado en el cual un material impide parcialmente o en su totalidad el paso de los rayos de la luz, ocasionando la falta de visibilidad a un observador.
Unidad Hartridge (UH)	Unidad de medida que permite determinar el grado de opacidad del humo, en una fuente emisora.
Unidad Bosch (UB)	Unidad de medida que permite determinar el grado de opacidad del humo. Por equivalencia se equiparan a las unidades Hartridge.
Humo	Residuo resultante de una combustión incompleta que se compone en su mayoría de carbon, cenizas y partículas sólidas y líquidas: materiales combustibles que son visibles en la atmósfera.

**NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES EN MOTORES CON COMBUSTIBLE GAS
L.P. O LICUADO**

Norma Oficial Mexicana NOM-CCATT-017-ECOL/1993 que establece los niveles máximos permisibles de hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes del escape de vehículos automotores que usan gas licuado del petróleo como combustible. con peso bruto vehicular mayor de 3000 Kg.

AÑO - MODELO	MONOXIDO DE CARBONO % del Volumen de emisión	HIDROCARBUROS ppm
TODOS	1.0	250

AÑO-MODELO Período comprendido entre en 1 de noviembre de un año y el 31 de diciembre del siguiente

PESO BRUTO VEHUCULAR Peso real del vehículo automotor expresado en kilogramos, sumado al de su máxima capacidad de carga conforme a las especificaciones del fabricante y al de su tanque de combustible lleno.

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLE DE ACUERDO A LA AGENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL (EPA) U.S.A.

II.2 Normas Técnicas Ecologicas Extranjeras

Standares De CO, HC'S Y NOx En Vida Util Intermedia En Camiones

COMBUSTIBLE	PESO (Lbs)	HC (G/MI)	CO (G/MI)	NOx (G/MI)	OMNMHE
Gasolina	0000 - 3750	----	3.4	0.4	0.25
Gasolina	3751 - 5750	----	4.4	0.7	0.32
Diesel	0000 - 3750	----	3.4	1.0	0.25
Diesel	3751 - 5750	----	4.4	---	0.32
Metanol	0000 - 3750	----	3.4	0.4	0.25
Metanol	3751 - 5750	----	4.4	0.7	0.32

Standares de HC,CO, y NOx En Vida Util Total En Camiones

COMBUSTIBLE	PESO (Lbs)	HC (G/MI)	CO (G/MI)	NOx (G/MI)	OMNMHCE	PM (G/MI)
Gasolina	0000-3750	0.80	4.2	0.6	0.31	---
Gasolina	3751-5750	0.80	5.5	0.97	0.40	0.12
Diesel	0000-3750	0.80	4.2	1.25	0.31	0.26
Diesel	3751-5750	0.80	5.5	0.97	0.40	0.13
Metanol	0000-3750	----	4.2	0.60	----	0.26
Metanol	3751-5750	----	10.0	1.7	----	0.13

GI/MI : Gramos por milla recorrida

PM : Particulas Medidas

OMNMHCE : Materia Orgánica no Equivalente en Metano
(Combustible)

Fuente: Codigo Federal de Reglas, Agencia de Proteccion Ambiental, Titulo 40 parte 86-99
Julio 1993.

Standares de Co. HC. y NOx. en Vehiculos a Gasolina y Diesel

AÑO - MODELO	HC (G/MI)	CO (G/MI)	NOx (G/MI)	*PARTICULAS (G/MI)
1981	0.255	2.11	1.00	.373
1985	0.25	2.11	0.62	.373
1987	0.26	2.1	.63	.12
1990	0.26	2.1	.63	.11

* La emision en particulas solo es aplicable para vehiculos con combustible a diesel

G/MI : Gramos por Milla Recorrida por el Vehiculo

Fuente: Codigo Federal de Reglas. Agencia de Proteccion Ambiental. Titulo 40 parte 86-99 Julio 1993.

II.3 Comparación de Normas Mexicanas con Normas Extranjeras

En comparacion con las normas emitidas en otros paises. se obserava que aun contando con Normas Oficiales Mexicanas en emisiones vehiculares. nuestras normas tienen aproximadamente una tolerancia de 2.0 veces más que las extranjeras.

Sin embargo para cumplir con las estrictas normas de emisiones vehiculares. en otros paises. se ha desarrollado tecnologia automotriz. junto con la fabricacion de equipos de control de emisionen contaminantes. los cuales destacan los convertidores cataliticos.

Pese a lo anterior. el problema existe y aunque se hayan tomado medidas para combatirlo. los resultados de estas medidas se apreciaran dentro de varios años. Ya que una gran parte de los automoviles no cuentan con el convertidor catalitico: bajo esta circunstancias es importante el desarrollo de convertidores cataliticos con tecnologia mexicana. pudiendo ser utilizados por los tipos de combustibles que existen y a un adecuado costo. con ello se pretende que dicha tecnologia sea competitiva con la del extranjero.

CAPITULO III

***TOXICOLOGIA
INDUSTRIAL***

CAPITULO III

TOXICOLOGIA INDUSTRIAL

III.1 Conceptos Básicos

Como resultado de la actividad industrial relacionada con la producción y uso de sustancias químicas, estos agentes pueden entrar al ambiente a través de descarga de desechos, procesos de combustión o derrames producidos por accidentes durante el transporte. En los individuos expuestos por accidentes durante el transporte. En los individuos expuestos, sea en el ambiente ocupacional o la población en general, estos agentes químicos pueden ingresar por vía respiratoria, digestiva o dérmica.

Los agentes químicos una vez absorbidos, producen efectos nocivos sobre el organismo humano. En función de la dosis y tiempo, esos efectos nocivos se evidenciarán a corto o largo plazo.

Se dará previamente algunos conceptos necesarios para el estudio de la toxicología en forma general.

Agente Tóxico.

Cualquier sustancia capaz de producir un efecto nocivo en un organismo vivo, desde el daño de sus funciones hasta la muerte.

Toxicidad.

Capacidad inherente a un agente químico de producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos.

De acuerdo con la definición de toxicidad, se requiere de interrelación de tres elementos:

1. Un agente químico capaz de producir un efecto.
2. Un sistema biológico con el cual el agente pueda interactuar para producir el efecto.
3. Un medio por el cual el agente y el sistema biológico pueda entrar en contacto o interactuar.

Toxicología.

En el estudio de los efectos nocivos de los agentes químicos sobre los organismos vivos. El objetivo principal de la toxicología, es establecer el uso seguro de los agentes químicos.

Dosis.

Cualquier efecto tóxico es proporcional a la dosis, siendo ésta, la cantidad de sustancia administrada a un organismo.

Algunos agentes químicos pueden producir la muerte con pequeñas cantidades (miligramos). Otros agentes químicos, pueden no producir un efecto tóxico, aún cuando se administren en dosis muy elevadas.

Las sustancias tienen toxicidad diferente; así, para producir determinado efecto (muerte), se evalúa a través de la dosis letal (DL50), se necesitan dosis diferentes para cada una de las sustancias. En base a esto, y considerando la dosis letal probable por vía oral para el hombre, los compuestos se pueden clasificar de acuerdo a su toxicidad.

Grados de toxicidad	Dosis letal probable para humanos
Prácticamente no tóxico	15 g/Kg
Ligeramente tóxico	5 - 15 g/Kg
Moderadamente tóxico	0.5 - 05 g/Kg
Muy tóxico	50 - 500 μ g/Kg
Extremadamente tóxico	5 - 50 μ g/Kg
Supertóxico	05 μ g/Kg

Riesgo y Seguridad.

El factor crítico no es la toxicidad intrínseca de una sustancia, sino el riesgo asociado con su uso.

Riesgo, es la probabilidad de que una sustancia produzca un daño en condiciones específicas de uso. El riesgo se establece con diferentes grados de confianza, de acuerdo a la importancia de la decisión involucrada.

Seguridad, lo contrario al riesgo, es la probabilidad de que no se produzca un daño en el uso de una sustancia en condiciones específicas. Dependiendo de las condiciones de uso, una sustancia muy tóxica puede representar un riesgo menor que una sustancia prácticamente no tóxica.

A menudo se utilizan niveles umbrales o aquellos niveles donde no se han observado efectos adversos, para establecer las reglamentaciones en el uso de las sustancias químicas, excepto en el caso de sustancias carcinogénicas o mutagénicas. Ningún agente químico es totalmente seguro o peligroso por sí mismo, es la cantidad utilizada, condiciones de uso y la susceptibilidad del organismo involucrado las que determinan el grado de seguridad o riesgo. La perspectiva es de que no hay posibilidad de evitar en forma absoluta el riesgo, sólo existe la posibilidad de elección entre riesgo y beneficio en el uso de determinadas sustancias.

AREAS DE LA TOXICOLOGIA

La toxicología puede dividirse en las siguientes áreas:

- Toxicología ambiental
- Toxicología ocupacional
- Toxicología de medicamentos
- Toxicología de alimentos
- Toxicología social

La toxicología ambiental, trata sobre efectos nocivos producidos por los contaminantes ambientales sobre los organismos vivos. La toxicología ocupacional, estudia los efectos nocivos producidos por los agentes químicos contaminantes del ambiente de trabajo sobre la salud del hombre. La toxicología de medicamentos se ocupa de los efectos nocivos en el uso de las sustancias como medicamentos. La toxicología de alimentos, trata de los efectos adversos sobre la salud por los agentes químicos presentes en los alimentos, sean éstos naturales, sustancias contaminantes o sustancias presentes debido al procesamiento. La toxicología social, estudia el efecto nocivo de los agentes químicos usados por el hombre en su vida de sociedad, sea a nivel individual, de relación o legal.

Las primeras clasificaciones de los agentes tóxicos se basan en su origen, clasificándolos como agente tóxico animales, vegetal o mineral. Posteriormente, fueron divididos en agentes irritantes, corrosivos, etc.

Una clasificación de los agentes más útiles puede ser realizada como:

- Su estado físico (gas, líquido, sólido)
- Su composición química (hidrocarburo, alcohol)
- El uso (plaguicidas, disolventes, conservadores en alimentos)
- El ambiente (contaminante en áreas de trabajo y medio ambiente)
- Organo afectado (hígado, riñón)
- Mecanismo de acción biológica

Exposición.

La exposición a una sustancia química dada, es una medida del contacto entre la sustancia y la superficie exterior del organismo. La intensidad de una exposición, es función de la concentración de la sustancia en contacto con la superficie exterior del organismo y la duración del contacto (tiempo). La intensidad de un efecto producido por el agente tóxico, depende de la concentración de ese agente en el sitio de acción, y en ciertos casos de la velocidad y el tiempo con que esa concentración es alcanzada.

Duración de la exposición

Una exposición aguda es aquella que se produce por la administración de cantidades elevadas de un agente químico en una o varias exposiciones, en un período de 24 horas o menor, produciendo un efecto nocivo de inmediato.

Una exposición crónica es aquella que se produce por la administración de pequeñas cantidades de un agente químico durante períodos largos, pudiendo aparecer efectos nocivos inmediatamente después de cada aplicación o efectos crónicos.

Para muchos agentes, los efectos tóxicos de la exposición aguda son muy diferentes de los observados luego de una exposición crónica. Por lo tanto, al evaluar la toxicidad de un agente químico se necesita información, no solo sobre los efectos producidos luego de una exposición aguda, sino también de aquellos que se producen luego de una exposición subaguda, así como de una exposición crónica.

III.2 Fase Toxicocinética

INTRODUCCION DE AGENTES QUIMICOS EN EL ORGANISMO

Las vías principales de introducción de un agente químico al organismo son la respiratoria, la cutánea y la digestiva. Cualquiera que sea la vía utilizada, el agente químico debe atravesar membranas de las células para acceder al órgano donde se produce el efecto. El espesor de las membranas de las células es de aproximadamente 7 nm. (75 unidades Angström) Fundamentalmente, la membrana celular es una capa doble bimolecular de lípidos recubierta a cada lado por una capa de proteínas. Los lípidos están constituidos principalmente por lecitina, cefalina y colesterol. Los ácidos grasos de la membrana no tienen una estructura rígida cristalina, siendo en ocasiones fluidos a la temperatura fisiológica, debido a esto la proporción de ácidos grasos no saturados. Cuando la membrana tiene más ácidos grasos no saturados, el transporte a través de éstas es más rápido.

Los mecanismos por los que un agente químico pasa a través de una membrana pueden dividirse en difusión o transporte pasivo, en el cual la célula no desempeña un papel activo en la transferencia y transporte especializado. Dentro de este tipo de transporte, podemos considerar a la difusión simple y la filtración.

ABSORCION POR VIA DIGESTIVA.

Se entiende por absorción al proceso por el cual el agente tóxico atraviesa las membranas e ingresa en la circulación. El tracto gastrointestinal debe ser visto como un tubo que atraviesa al cuerpo. Aunque está dentro de éste, su contenido debe ser considerado externo al organismo. Los agentes químicos que se encuentran en el tracto gastrointestinal, no producen daño al individuo hasta que son absorbidos, a menos que ese agente sea un compuesto caustico o irritante.

La absorción se produce a lo largo de todo el tracto gastrointestinal, desde la boca hasta el recto. Por ejemplo, muchos componentes del humo del cigarro se absorben en la boca, mientras que otros componentes de otra naturaleza se absorben en el recto cuando son administrados por esa vía.

El jugo gástrico es ácido, mientras que el contenido del intestino es casi neutro, por esa razón, la solubilidad de un agente químico en los lípidos puede ser diferente en estas dos secciones del tracto gastrointestinal. Se puede determinar la cantidad de una sustancia que está en la forma no ionizada, liposoluble y de este modo, disponible para su absorción. Un ácido orgánico débil que se encuentra en el estómago en la forma no ionizada, tiende a ser absorbido allí, por otro lado, una base débil está en la forma no ionizada en el intestino; por lo tanto, las bases orgánicas se absorben allí y no en el estómago.

El tracto gastrointestinal en los mamíferos tiene un sistema de transporte especializado para la absorción de nutrientes y de electrolitos. Hay un sistema encargado para la absorción de aminoácidos, un sistema activo de transporte de pirimidina y otros para el hierro, calcio y sodio. La absorción de algunas sustancias es compleja y depende de varios factores, muchos agentes tóxicos pueden ser adsorbidos a través de estos sistemas de transporte especializado, por ejemplo el (Pb) puede ser absorbido por el mismo sistema que el del (Ca)

La estabilidad del agente químico en el PH ácido del estómago, a las enzimas del estómago e intestino y aun a la flora intestinal es de gran importancia, ya que los agentes químicos pueden ser modificados produciendo compuestos de toxicidad diferente. Así, la toxina de víbora no es tóxica por vía digestiva debido a la acción de las enzimas existentes en el tracto gastrointestinal y la presencia de bacterias, especialmente la escherichia coli.

Existen otros factores que modifican la absorción gastrointestinal, así, el EDTA aumenta la absorción de algunos compuestos, debido posiblemente a que aumenta la permeabilidad de la membrana, complejando al calcio. Otro factor que modifica la absorción es la movilidad gastrointestinal, ya que, si es insoluble, éste no será absorbido. Un agente químico puede modificar la absorción de otro, así, la leche modifica la absorción del plomo.

ABSORCION POR VIA RESPIRATORIA

Es la más importante en la exposición ocupacional, especialmente en el caso de sustancias sólidas o líquidas en suspensión; las sustancias tóxicas inhaladas pueden presentarse bajo la forma de partículas finas sólidas o líquidas en suspensión estable en el aire. Estas partículas, no son retenidas mecánicamente a nivel de las vías respiratorias superiores y pueden penetrar por las ramificaciones del árbol respiratorio hasta los alvéolos pulmonares; a este nivel existe gran cantidad de capilares.

produciéndose allí una absorción rápida y distribución por la sangre a todos los órganos, y particularmente al sistema nervioso central.

Casi el 90% de las intoxicaciones de origen industrial, son atribuidas a la absorción por la vía pulmonar; un individuo inhala alrededor de 10 m³ de aire durante 8 horas; se comprende fácilmente el peligro que significa la presencia de sustancias tóxicas en el aire. Las vías respiratorias superiores intervienen en la retención y en la absorción de los agentes tóxicos, dependiendo de su estado físico, las fosas nasales retienen el 50% de las partículas cuyo diámetro es superior a 8 micras; la respiración por la boca únicamente retiene el 20%, la mucosa nasal, la faringe y la laringe desempeñan un papel accesorio; la retención en la tráquea, los bronquios y los bronquiolos, está en relación con el tamaño de la partícula, de acuerdo a la siguiente tabla.

RETENCION DE PARTICULAS EN EL APARATO RESPIRATORIO

LUGAR DE RETENCION	TAMARO DE LA PARTICULA (en mm)						30
	0.05	0.10	0.3	1	3	10	
Traquea	0.16	0.08	0.03	0.1	0.8	7.8	67 %
Bronquio	2.17	1.00	0.54	0.67	3.9	16.9	%
Bronquiolo	6.30	4.00	7.70	41.40	10.2		%
Alveolo	51.30	27.70	28.50	81.90	36.8		%

La absorción, es decir, el pasaje del agente tóxico desde los pulmones a la sangre, se efectúa a través de 400 millones de alvéolos. Estos, son sacos microscópicos que están formados por un epitelio constituido por grandes células aplanadas en contacto con una red de capilares sanguíneos, realizándose los intercambios gaseosos entre el aire y la sangre, a través de una membrana de alrededor de 6 mm (unidades Angström) de espesor. La superficie de absorción es enorme, aproximadamente 100 m², lo que explica la velocidad de dicha absorción. Esto hace que la acción del compuesto absorbido por esta vía, sea casi tan rápida como por la vía intravenosa.

A este nivel, se absorben preferentemente gases y líquidos volátiles. Se acepta que el mecanismo de dicha absorción es un transporte pasivo por simple difusión gaseosa, siguiendo una diferencia de presión entre el aire alveolar y la sangre.

capilar, a través de la membrana alveolo-capilar. Por lo tanto, cuando mayor es la concentración del gas en el aire inhalado, mayor es su presión parcial (ley de Dalton), más rápidamente su difusión (ley de Fick), mayor su solubilidad en la sangre (ley de Henry) y mayor su absorción. Además, la difusión es mayor, cuanto menor es la densidad del gas (ley de Graham), interviniendo el coeficiente de partición lípido/aire (ley de Nerts), ya que, a mayor liposolubilidad, mayor será el pasaje a través de la membrana.

Los aerosoles (suspensión gaseosa de un sólido o un líquido) llegan a los alvéolos cuando el diámetro de la partícula está comprendido entre 0.5 y 2 mm. (u.a) Las partículas mayores de 10 mm. (u.a) debido a su peso, se depositan en las vías respiratorias superiores, donde la absorción es menor. Las gotas finas y livianas, no son retenidas en los pulmones y salen con el aire expirado. En el caso de los aerosoles, el paso total de las gotas de la niebla es de 5 a 10 mg/l.

La remoción del agente tóxico del alveolo ocurre por tres formas:

- A) Remoción física de las partículas retenidas en el alvéolo
- B) Fagocitosis: esta función es realizada por los macrófagos que se encuentran en grandes cantidades en los pulmones y fagocitan a las partículas de origen exógeno o endógeno.
- C) Linfática, debido a que normalmente el agua junto con los electrolitos y proteínas solubles pasan de los capilares al espacio intersticial y alveolar y vuelven al sistema linfático. Las partículas pueden permanecer en el tejido linfático por mucho tiempo

ABSORCION POR VIA CUTANEA

La piel representa casi el 16% del peso del cuerpo humano y cumple un rol de protección del organismo para diversos agentes físicos, químicos y biológicos. La afinidad de ciertas sustancias por los lípidos cutáneos, hace que estas puedan atravesar la epidermis para llegar a la circulación general. Es el caso de la nicotina, derivados aromáticos nitrados y aminados, disolventes cloratos, tetraetilo de plomo, plaguicidas organofosforados, y de derivados inorgánicos, como ocurre con algunas sales de talio y de cromo.

La penetración a través de la piel de los agentes químicos, se ve favorecida por lesiones en la epidermis esto es importante, ya que en los trabajadores es muy difícil de que ella se encuentre completamente intacta; además, la sustancia puede alterar en primer término la epidermis y la dermis, favoreciendo así a una mayor absorción, como es el caso de las quemaduras.

La absorción de los agentes químicos a través de la piel, puede ser importante en trabajadores que utilizan mercurio, compuestos organo-metálicos o disolventes orgánicos. Es la costumbre difundida entre trabajadores de lavarse las manos y los brazos con disolventes orgánicos para eliminar sustancias grasas, puede producir una absorción considerable de los agentes químicos, además de dermatitis. El contacto con las mucosas, en razón de su vascularización, es todavía más peligroso, ya que algunos agentes tóxicos penetran a través de la conjuntiva y se han observado diversos casos de intoxicaciones después de la aplicación de colirio de atropina. La función más conocida que cumple la piel, es la de protección; en la parte externa existe una capa de composición lipídica y acuosa, los lípidos provienen de la ruptura de las lipoproteínas durante el proceso de queratinización y de la secreción de las glándulas sebáceas; su composición química es compleja, con hidrocarburos alifáticos de cadena larga, ácidos y alcoholes grasos saturados y no saturados, libres o esterificados y ceras, lo que permite oponerse al paso de sustancias hidrosolubles, pero facilitan la penetración de compuestos de estructura química similar como hidrocarburos alifáticos y aromáticos y sus derivados halogenados u oxigenados. La intensidad de su penetración varía en razón inversa a la volatilidad y a la viscosidad; como estas propiedades están estrechamente ligadas al peso molecular, se puede decir que en una serie homóloga existe un compuesto donde el peso molecular es tal, que ofrece la conjunción ideal de los factores. En la práctica, los hidrocarburos alifáticos y los alcoholes de C₆ a C₈, en los que ni la volatilidad ni la viscosidad son muy pronunciados, son fácilmente absorbidos.

La presencia de ácidos grasos en la capa hidrolipídica permite la formación de jabones lipó o hidrosolubles, favoreciendo así, la penetración de ciertos agentes tóxicos inorgánicos, en particular mercurio y plomo. El agua provista por las glándulas sudoríparas a través del sudor, es el vehículo de disolución para sales, urea, ácidos aminados, ácido cítrico y láctico que confieren a la piel un PH indispensable para mantener su acción protectora.

Después de la ruptura de la barrera hidrolipídica, el contacto puede ser establecido por la segunda línea de defensa, la capa epidérmica, a través de la cual un agente tóxico puede penetrar por difusión. El estado de la piel, su integridad hidrolipídica, sus alteraciones patológicas epidérmicas y dérmicas, su composición química variable según la edad, la superficie expuesta, así como la vascularización y la pilosidad, forman un conjunto individual, donde la influencia del tóxico puede ser preponderante. El eritema, señal de la hiperemia debido a los disolventes, es un factor que favorece la absorción.

Las propiedades fisicoquímicas de una sustancia, son los factores principales para la penetración de un compuesto a través de la piel. En general, los gases penetran libremente la piel, los líquidos menos y los sólidos que son insolubles en agua o en grasa, probablemente son incapaces de penetrar en grado significativo. La penetración de un tóxico a través de la piel, es dependiente del tiempo de contacto, y esto ha sido demostrado experimentalmente. No está claro aún, cual grado de solubilidad en grasa es importante, aparentemente la solubilidad agua/grasa influye en la penetración.

En lo que respecta a la polaridad, parece que los compuestos no polares pasan a través de la piel más fácilmente que las sustancias iónicas, pero esto no es absoluto. Factores locales, tales como temperatura e irrigación sanguínea en el lugar, influyen en el grado de absorción a través de la piel.

CAPITULO IV

**PROBLEMA DE LA
CONTAMINACION EN LA
CIUDAD DE MEXICO**

CAPITULO IV

PROBLEMA DE LA CONTAMINACION EN LA CIUDAD DE MEXICO

IV.1 Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México habita más de la quinta parte de la población nacional, se genera el 36% del PIB del país y se consume el 17% de la energía producida.

La población registrada en el censo de 1990 para la ZMCM es de 14 millones 987 mil habitantes; el 55% vive en el Distrito Federal y el 45% en los municipios conurbados del Estado de México las proyecciones indican que la población continuará su crecimiento con una tasa anual de 1.4% llegando a más de 20 millones de habitantes para el año 2010. La población del Estado de México crecerá más rápido y con un nivel de infraestructura y servicios menor que el Distrito Federal.

La extensión de la mancha urbana obliga a sus pobladores a transportarse grandes distancias para cumplir con sus actividades cotidianas. Se estima que se realizan 29.5 millones de viajes, los cuales se hacen en 2 millones 372 mil autos privados, 56 mil 500 taxis, 69 mil 560 combis y microbuses, 10 mil 950 autos urbanos, 8 líneas del metro, una línea del tren ligero y 450 trolebuses.

Existen más de 30 mil industrias y 12 mil establecimientos de servicio, entre las industrias del valle de México, 250 manejan residuos peligrosos y 4 mil procesos de combustión o transformación con emisiones significativas al aire.

La intensidad del uso del suelo y la enorme cantidad de actividades que se realizan en la ZMCM y sus alrededores, mantienen una tendencia creciente de emisión de contaminantes a la atmósfera que deterioran la calidad del aire y los ecosistemas que componen a la Ciudad de México, poniendo en riesgo la salud de sus habitantes.

* Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)

Por lo tanto la masa de aire que circunda a la Tierra se estima que pesa 5.200 billones de toneladas, aproximadamente; para medir la concentración de las sustancias que componen el aire podemos utilizar las fracciones molares, o el porcentaje en peso. Si decimos que la Fracción Molar del oxígeno es de 20.94%, entendemos que por cada 10.000 moléculas totales que están presentes en el aire, hay 2.094 de oxígeno. Puesto que a la misma presión un igual número de moléculas de cualquier gas ocupa el mismo volumen, a la fracción molecular se le llama también Fracción de Volumen. Para las sustancias presentes en menor cantidad, en vez de porcentajes se usan las Partes Por Millón (PPM) una concentración de 18 ppm significa que en cada millón de moléculas hay 18 de una cierta sustancia. Puesto que un millón es igual a 10.000 veces 100, para pasar del porcentaje a las ppm basta multiplicar por 10.000. Podemos decir que, la concentración de dióxido de carbono es de 0.32% o de 320 ppm. El siguiente cuadro muestra la composición de un aire no contaminado.

SUSTANCIA	FORMULA	FRACCION MOLAR
Nitrógeno	N ₂	78.09 %
Oxígeno	O ₂	20.94 %
Argón	Ar	0.93 %
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.032 %
Neón	Ne	18.0 ppm
Helio	He	5.2 ppm
Metano	CH ₄	1.5 ppm
Kriptón	Kr	1.0 ppm
Hidrógeno	H ₂	0.5 ppm
Oxido Nitroso	N ₂ O	0.25 ppm
Monóxido de Carbono	CO	0.1 ppm
Ozono	O ₃	0.02 ppm
Dióxido de Azufre	SO ₂	0.001 ppm
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	0.001 ppm

Fuente: Maurizio Caselli

La contaminación Atmosférica Causas y
Consecuencias
Edit. Siglo XXI, Abril 1992

Se puede observar, que las sustancias tales como el anhídrido sulfuroso o el dióxido de nitrógeno, están presentes en cantidades muy bajas. No obstante, la concentración de estas mismas sustancias puede aumentar en algunos centenares de veces, durante los episodios de contaminación atmosférica

La calidad del aire en la Ciudad de México no puede ser explicada exclusivamente mediante una relación simple de causa-efecto. Se trata de un fenómeno complejo que depende, principalmente de las siguientes variables.

Vinculadas Con La Actividad Social, Económica y Urbana

- * Volumen de combustibles consumidos
- * Calidad y tipo de combustibles empleados
- * Tipo, estado y operación de los equipos de combustión de los procesos industriales prevaletientes.
- * Existencia y operación de tecnologías de control de combustión y de emisiones, tanto en vehículos como en plantas industriales y de servicio.
- * Estado de la cubierta vegetal, la textura y composición de los suelos en las zonas suburbanas y no urbanas que rodean a la ciudad

Vinculadas Con Las Características Naturales

- * Ubicación y condiciones meteorológicas del Valle de México y las sierras que lo rodean.
- * La interacción entre los diferentes contaminantes y los componentes del aire que modifican la química atmosférica.
- * Tipo de suelo y fuentes para la obtención de agua potable.

PRINCIPALES CONTAMINANTES

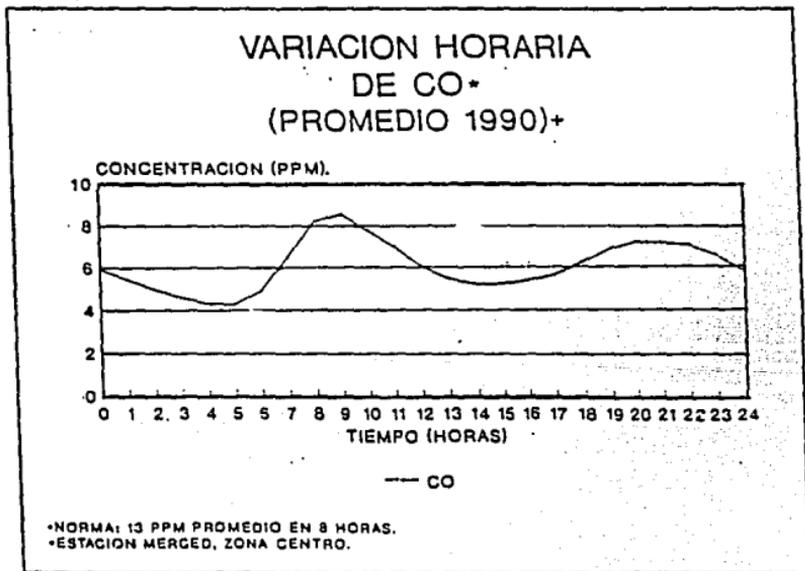
MONOXIDO DE CARBONO, CO

El origen más importante del monóxido de carbono en el aire es la combustión incompleta que se efectúa en los vehículos de gasolina, lo cual se agudiza en la ZMCM debido al menor contenido de oxígeno en su atmósfera (-23%) comparado con el que existe en el nivel del mar.

Su emisión depende principalmente del estado de afinación de los motores de combustión interna y en un futuro de la cobertura y buen funcionamiento de dispositivos de control, como los convertidores catalíticos. La magnitud de CO que se arroja a la atmósfera está determinada

fundamentalmente por la tecnología, estado de funcionamiento de los vehículos, las características de los combustibles, las condiciones del sistema vial, los patrones de tránsito vehicular y las modalidades de transporte que prevalecen en la ciudad.

Es por ello que a lo largo del día, las concentraciones de CO en la ZMCM varían en forma directamente proporcional a las fluctuaciones del tránsito vehicular. De esta manera, las concentraciones máximas corresponden a los periodos de mayor circulación, por lo tanto las concentraciones pico ocurren aproximadamente a las 8 de la mañana y poco después de las 8 de la noche, este comportamiento es semejante en el resto de la ciudad, aunque los valores máximos y las horas pico pueden variar según las características del sitio o lugar.

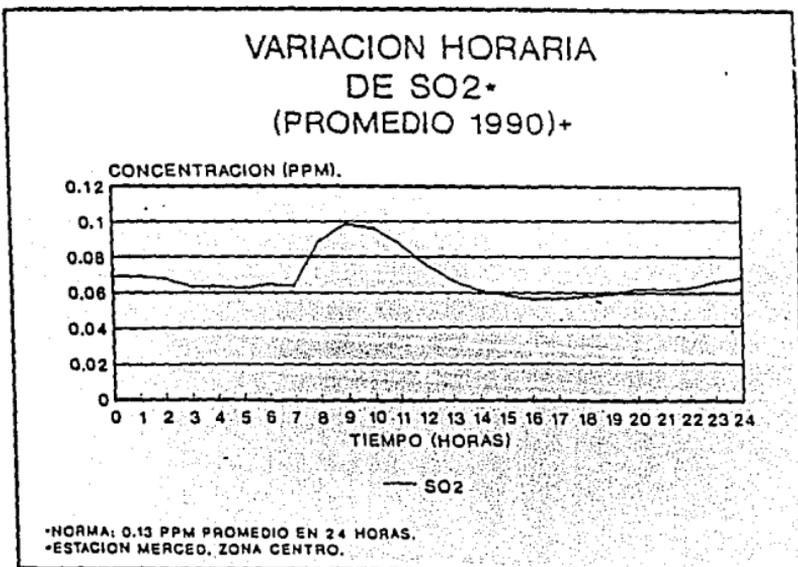


Fuente : Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la ZMCM, SEDUE Oct. 1991

BIOXIDO DE AZUFRE SO₂

El bióxido de azufre proviene principalmente de la quema de combustibles que contienen azufre principalmente combustóleo y diesel, además de producirse en los procesos de refinación del petróleo. Sin embargo, la importancia del SO₂ como contaminante va más allá de su concentración como tal en la atmósfera. Una vez en el aire, se transforma en sulfatos a través de reacciones que involucran la formación de ácido sulfúrico, por lo que contribuye en forma importante a la producción de lluvia ácida. Así mismo, los sulfatos incrementan la concentración de partículas suspendidas en el aire y contribuyen sensiblemente a la distribución de la visibilidad. A este respecto, en la ZMCM se han encontrado evidencias de que el contenido de sulfatos es relativamente alto en el norte de la ciudad y que la lluvia presenta en ocasiones niveles ligeramente ácidos, en los alrededores de la zona metropolitana principalmente.

El SO₂ es emitido predonderantemente por el sector industrial y su perfil de concentraciones a lo largo del día denota el comportamiento típico de una sustancia proveniente de chimeneas. Presenta una concentración máxima matutina por acumulación alrededor de las 9 a.m., que coincide con el rompimiento de la estructura de inversión térmica. En este lapso la turbulencia y patrones de circulación vertical hacen que descienda parte del SO₂ emitido a niveles de chimenea industrial y aumenten momentáneamente sus concentraciones a nivel del suelo, para luego iniciar un proceso de dispersión.



OXIDOS DE NITROGENO NOx

Los óxidos de nitrógeno se forman durante la combustión como producto de la oxidación del nitrógeno atmosférico y, en un menor grado, del nitrógeno orgánico contenido en los combustibles. Sin embargo, los óxidos de nitrógeno tienen otras implicaciones desde el punto de vista de la calidad del aire. En primer lugar, son los precursores básicos del ozono, el cual es uno de los más serios problemas de contaminación en ZMCM. Asimismo, pueden oxidarse en la atmósfera dando lugar a la formación de ácidos, y finalmente de sales de nitrato que, al igual que los sulfuros, son partículas que interviene en la disminución de la visibilidad.

Aunque no se cuenta con un criterio de calidad del aire para los óxidos de nitrógeno, sí lo hay para una de sus formas químicas, el dióxido de nitrógeno, la Norma Mexicana de Calidad del Aire es de 0.21 ppm, promedio máximo horario; debido a las características tecnológicas de los procesos que lo generan, como la calidad de los combustibles utilizados en el parque vehicular, los patrones de circulación del viento y usos del suelo imperantes en la ZMCM, presenta una tendencia creciente de este contaminante.



Hv : Radiación Solar

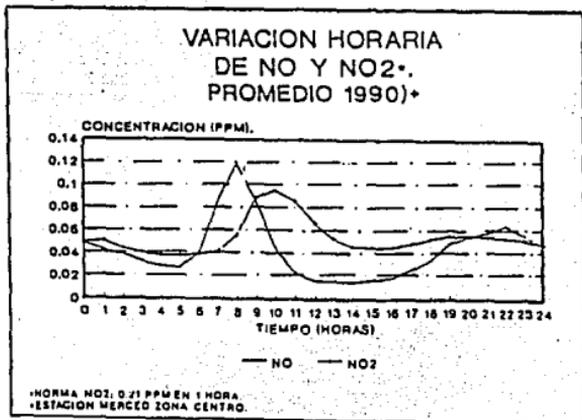
M : Cualquier molécula receptora de energía

O : Atomo libre de oxígeno

NO₂ : Dióxido de nitrógeno

O₃ : Ozono

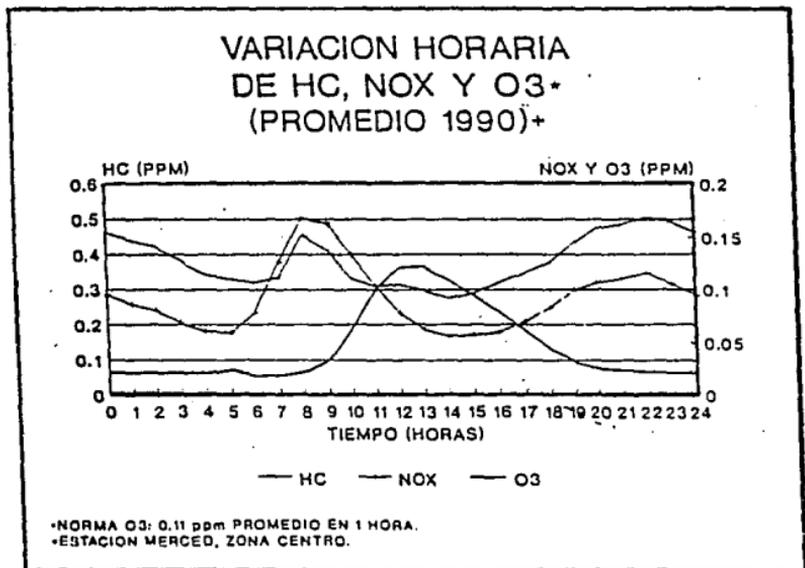
NO : Monóxido de nitrógeno



OZONO, O₃

El ozono un contaminante que no se emite directamente, sino que se forma a partir de reacciones muy complejas en las que participan óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, en presencia de luz solar. La naturaleza fotoquímica del ozono se manifiesta al incrementarse su presencia en función de las tasas de radiación solar y de la acumulación de sus precursores. La concentración pico de O₃ coincide también con bajos niveles de NOx, lo cual ocurre entre las 12 y 14 horas, por la tarde, a medida que decae la radiación solar y la temperatura, las concentraciones de O₃ se abaten también, mientras que las de NOx y HC vuelven a incrementarse.

Es evidente que durante la noche las concentraciones de O₃ se mantienen en niveles muy bajos y casi constantes, lo cual se explica por la carencia de luz solar que active su formación.

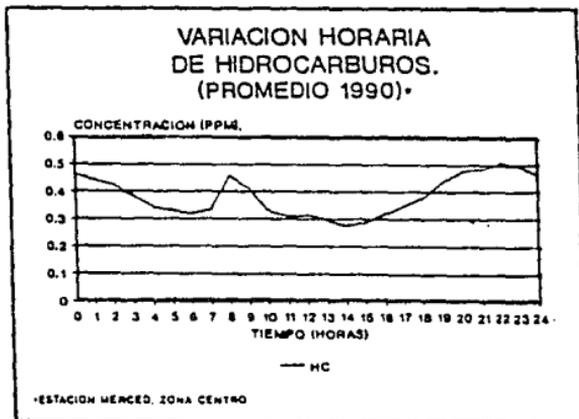


Fuente : Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la ZMCM. SEDUE Oct. 1991

HIDROCARBUROS HC (Excluyendo Metano)

Las existencias de estos contaminantes en la atmósfera incluyen hidrocarburos no quemados y otras especies formadas durante la combustión, así como los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos en diversas actividades industriales y en la fabricación, almacenamiento y aplicación de solventes y pinturas.

Los HC han dejado de constituir, por sí mismos, un parámetro de calidad del aire debido a la amplia diversidad de especies y a sus diferentes propiedades tóxicas y de reactividad. En varios países, diversos compuestos del grupo de los hidrocarburos se regulan en forma independiente, sin embargo la principal razón para su control radica en que son precursores de oxidantes fotoquímicos (Ozono). En la gráfica puede observarse un pico matutino a las 8:00 Hrs. atribuible a las emisiones vehiculares. El mínimo diario se presenta alrededor de las 14:00 Hrs., hora de intensa actividad fotoquímica en donde los HC reaccionan para formar otros compuestos catalizando la regeneración de Ozono.



Fuente : Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la ZMCM. SEDUE Oct. 1991

PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES. PST

En la atmosfera de la ZMCM se encuentran presentes en suspensión, partículas de muy diversa composición y tamaño. Entre estas se incluyen las llamadas partículas naturales (integradas por suelos, partículas de origen biológico y basura, así como partículas de origen mineral), las partículas que provienen de los procesos de combustión, y las que se forman en la atmósfera como resultado de la transformación de otros contaminantes, entre los que pueden encontrarse los nitratos y los sulfatos.

Es necesario aclarar que las partículas que representan el mayor impacto sobre la salud, e incluso sobre la visibilidad son aquellas que tienen un tamaño inferior de 10 micrometros; a estas se les conoce como PM10. En la ZMCM, el contenido de PM10 puede representar del 40% -60% de las partículas totales reportadas.

Por lo tanto y como consecuencia de la distribución de usos del suelo en la ZMCM y de las características climatológicas de la época invernal, las mayores concentraciones de partículas suspendidas se presentan en la parte noreste de la ciudad; por el contrario la tendencia mencionada se invierte durante los meses de marzo a agosto, lo que coincide con las condiciones más favorables de dispersión.

PLOMO Pb

En el aire, el plomo es uno de los constituyentes de las partículas suspendidas. Su principal fuente de emisión son los automóviles, debido al uso de gasolina con este metal. es importante destacar que la reformulación de la gasolina, la cual a variado en su contenido de tetraetilo de plomo desde valores superiores a los 3 ml/gal a menos de 1 ml/gal.

Como consecuencia de ello, las concentraciones en el aire ambiente se redujeron en 1987 a menos del 50% de las que existían en 1982. No obstante, este contaminante no cuenta con un criterio nacional de calidad del aire; sin embargo, de acuerdo con la Norma Primaria de Estados Unidos, el criterio establecido es de 1.5 mg/m³ promedio trimestral. De acuerdo con esto se registró una tendencia decreciente entre 1989 y 1990, incluso en el noreste de la ZMCM, caracterizada por presentar las concentraciones más elevadas de este contaminante.

Inventario de Emisiones (% En Peso Por Contaminante SEDUE 1991)

SECTOR	FUENTES	SO ₂	NO _x	HC	CO	PST	TOTAL
ENERGIA	PEMEX	7.2	1.8	5.5	1.8	0.3	2.4
	TERMOCLECTRICA	28.3	3.7	0.0	0.0	0.8	1.6
INDUSTRIA SERVICIOS	INDUSTRIA	32.0	16.3	7.0	0.5	2.3	3.7
	E.MERCANTILES	10.7	2.2	0.0	0.0	0.5	0.7
TRANSPORTE	AUTOS PRIVADOS	1.7	23.7	24.7	45.0	1.0	34.7
	TAXIS	0.4	5.4	5.6	10.2	0.2	7.9
	COLECTIVOS	0.4	5.7	7.5	13.7	0.2	10.5
	R-100	2.5	4.5	0.4	0.2	0.1	0.5
	AUTOBUS EDO.MEX	6.3	10.3	0.9	0.4	0.1	1.1
	CARGA-GASOLINA	0.5	9.6	11.9	26.4	0.3	19.9
	CARGA-DIESEL OTROS	9.8 0.1	14.7 1.5	1.3 0.3	0.6 0.2	0.2 0.0	1.6 0.2
DEGRADA- CION ECOLOGICA	AREAS EROSION	0.0	0.0	0.0	0.0	93.1	9.6
	INCENDIOS	0.1	0.5	34.9	0.9	0.9	5.3
	TOTALES	100.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Inventario De Emisiones Por Sector Y Toxicidad (% en peso)
SEDUE 1991

SECTOR	SO ₂	NO _x	HC	CO	PST	TOTAL
ENERGIA	35.5	5.6	5.6	1.8	1.0	4.0
INDUSTRIA SERVICIOS	42.7	18.5	7.0	0.6	2.8	4.4
TRANSPORTE	21.8	75.4	52.5	96.7	2.1	76.7
DEGRADA- CION ECOLOGICA	0.1	0.5	34.9	0.9	94.0	15.0
TOTALES	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

UBICACION Y CONDICIONES METEOROLOGICAS DE LA CIUDAD DE MEXICO

La dispersión y transformación de los contaminantes en la atmósfera se ve favorecida o limitada por los efectos del clima, así como por las condiciones de altitud y orográficas de la Ciudad de México.

En general, la Ciudad de México y su área ecológica de influencia, la cual incluye las sierras y montañas que la rodean, goza de un clima templado con precipitaciones anuales superiores a los 700 mm en las zonas montañosas del sur y temperaturas medias que oscilan entre 10 y 23 grados centígrados y a una altura promedio de 2240 m sobre el nivel del mar en la Ciudad de México. El área en donde se ubica el antiguo lago de Texcoco posee un clima seco estepario, influenciado por la apertura oriente de la CM en dirección hacia los grandes llanos de Apan, en el estado de Hidalgo, en esta porción del valle la precipitación no supera los 532 mm anuales y las temperaturas medias alcanzan en verano los 35 grados centígrados.

La época de lluvias en la CM se inicia en mayo y termina en septiembre. En los meses de junio, julio y agosto cuando se presentan precipitaciones intensas y casi diarias, contribuyen a la limpieza de la atmósfera.



Los vientos dominantes durante el día y a lo largo del año provienen del noreste, con velocidades medias superficiales del orden de 2 m/s. Durante la noche, los vientos fríos de las montañas descienden hacia la Ciudad.

En la época de secas, durante los primeros meses del año, fuertes vientos vespertinos provenientes del noreste, arrancan partículas de las áreas desprovistas de vegetación y pavimento provocando fuertes torvañeras locales. Hacia el mes de marzo, vientos del norte y ocasionalmente del sur, limpian la atmósfera a medio día, estableciéndose condiciones de mejor visibilidad.

La extensión del área urbana y el consumo de energéticos que se realizan en el interior, han modificado sensiblemente el microclima de la Ciudad de México. Actualmente, las islas de calor de la ciudad marcan diferencias de hasta 12 grados centígrados entre la ciudad y las áreas suburbanas y rurales de la periferia. Este fenómeno provoca movimientos ascendentes de aire contaminado en el centro del valle, mismo que tiene la oportunidad de dispersarse o descender en los alrededores inmediatos de la Ciudad.

Como fenómeno meteorológico, se presenta el de la inversión térmica (Inversión por Radiación del Gradiente Vertical Térmico) con gran frecuencia. El fenómeno consiste en una estratificación del aire en la superficie durante la noche, ya que al caer la tarde la radiación solar recibida es insuficiente para evitar el enfriamiento. Por otra parte durante la noche, el aire localizado en las montañas que rodean la cuenca, por estar frío y ser más denso resbala de las montañas al fondo de la cuenca. Durante el día la radiación solar hace que la inversión no dure normalmente más de cinco horas después de la salida del sol, cuando se establece la condición de turbulencia que diluye por difusión y dispersión de contaminantes. Estas inversiones de temperaturas pueden dar lugar a situaciones graves, cuando su duración se prolonga más de 24 Horas, y cuando la cuenca se ve invadida por masas de aire polar continental cuya frecuencia es de aproximadamente una vez a la semana en la estación de invierno, causando con ello que la inversión sea más fuerte y profunda en altura; debido a esta condición topográfica, se ocasiona una disminución en la densidad del aire respecto al nivel del mar en un 23%. Un metro cúbico de aire al nivel del mar contiene 275 g de oxígeno, mientras que en la ZMCM un metro cúbico de aire contiene 212 g de oxígeno a la misma temperatura ambiente de 23 o 25 grados centígrados. (298 K).

Debido a su altitud y latitud, así como por sus condiciones climáticas, la cuenca de la Ciudad de México recibe intensa radiación solar que promueve la generación de compuestos fotoquímicos, como el ozono, que pueden ser dañinos a la salud, vegetación, fauna y materiales en general.

NORMAS Y CRITERIOS DE LA CALIDAD DEL AIRE

Para evaluar la calidad del aire en la ZMCM se cuenta con un sistema de estaciones de monitoreo que forman la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y la Red Manual de Monitoreo Atmosférico. La primera cuenta con 25 estaciones que evalúan 7 contaminantes y 4 parámetros meteorológicos.

La segunda está compuesta por 19 estaciones que evalúan PST (cinco), PSFR, SO₂, NO₂ y metales pesados (Pb, Cu, Zn, Ni y Cd).

Distribución De Las Estaciones Que Comprenden La Red Automática De Monitoreo Atmosférico De La ZMCM

Estacion	Clave	Ubicacion	Parametros
1	Z	Lagunilla	CO
2	E	Vallejo	SO ₂
3	S	Santa Ursula	SO ₂
4	B	Tacuba	SO ₂ , NMO, H ₂ S, Met
5	G	ENEP-Acatlán	SO ₂ , PST, Met
6	M	Los Laureles	SO ₂ , PST
7	H	La Presa	SO ₂ , PST
8	J	La Villa	SO ₂ , PST
9	N	San Agustín	SO ₂ , PST, O ₃ , Met
10	C	Azcapotzalco	SO ₂ , O ₃
11	F	Tlalnepantla	SO ₂ , CO, PST, FR, O ₃ , NO ₂ , NOx, Met.
12	L	Xalostoc	SO ₂ , CO, PST, FR, O ₃ , NO ₂ , NOx, Met.
13	X	Merced	H ₂ S, SO ₂ , CO, PST, FR, O ₃ , NO ₂ , NOx, NMO, Met.
14	T	Pedregal	SO ₂ , CO, PST, FR, O ₃ , NO ₂ , NOx, Met.
15	Q	Cerro De La Estrella	SO ₂ , CO, PST, FR, O ₃ , NO ₂ , NOx, Met.
16	U	Plateros	CO, PST, O ₃ , Met.
17	Y	Hangares	SO ₂ , PST, O ₃ , NMO, Met.
18	P	Iztapalapa	
		U.N.A.M.	CO, PST, O ₃
19	K	Aragón	CO, PST
20	O	Nezahualcóyotl	CO, PST
21	D	I.M.P.	CO
22	W	Benito Juárez	CO
23	R	Taxqueña	CO
24	V	Insurgentes	CO
25	A	Cuitláhuac	CO

SIMBOLOGIA

<p>SO₂ : Bióxido de azufre CO : Monóxido de carbono NOx : Óxidos de nitrógeno NMO : Hidrocarburos no metanos O₃ : Ozono H₂S : Acido sulfhídrico NO₂ : Bióxido de nitrógeno</p>	<p>PST : Partículas Suspendidas totales FR : Fracción respirable Met : Parámetro Meteorológico WSP : Velocidad del viento WDR : Dirección del viento TMP : Temperatura RH : Humedad relativa.</p>
--	--

Fuente: Dirección General de Prevención y Control de la
 Contaminación Ambiental SEDUE 1990

Varios países desarrollan políticas de control ambiental con base en normas o criterios de calidad del aire. Estos establecen las concentraciones máximas permisibles de contaminantes para asegurar la protección de la salud y el bienestar de la población. En México, estos parámetros poseen la categoría de Criterios de Evaluación de la Calidad del Aire (diario oficial 29 de Noviembre 1982). Dichos criterios son, en general, equivalentes a los que rigen en la mayoría de los países industrializados.

CRITERIOS DE EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE

CONTAMINANTE	TIEMPO DE * PROMEDIO	CONCENTRACION LIMITE
BIOXIDO DE AZUFRE	24 HORAS	0.13 ppm
MONOXIDO DE CARBONO	8 HORAS	13.00 ppm
OZONO	1 HORA	0.11 ppm
BIOXIDO DE NITROGENO	1 HORA	0.21 ppm
PLOMO **	3 MESES	1.5 mg/m ³
PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES	24 HORAS	275.0 mg/m ³
PARTICULAS SUSPENDIDAS MENORES A 10 MICRONES **	24 HORAS	150.0 mg/m ³

* Los criterios de evaluación de México no especifican la frecuencia anual que puede aceptarse al exceder el límite

** Los criterios de evaluación de plomo y de partículas no son oficiales.

Con base en la información generada por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la SEDESOL emite diariamente un reporte sobre la calidad del aire en la forma del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), el cual describe numéricamente los niveles de contaminación; la determinación del IMECA se realiza a partir de promedios horarios ponderados a través de los valores de referencia que se presentan en seguida. Un valor IMECA de 100 puntos corresponde a la norma para cada contaminante y un valor IMECA de 500 representa niveles de contaminación para los cuales existen "evidencias de daños significativos a la salud". Con base en estas referencias numéricas preestablecidas, para cada 100 unidades, la escala IMECA se define conforme a lo siguiente:

CONTAMINANTE Y TIEMPO PROMEDIO							
IMECA	CALIDAD DEL AIRE	PST (24 Hrs)	M10 (24 Hrs)	SO ₂ (24 Hrs)	NO ₂ (1 Hra)	CO (1 Hra)	O ₃ (1 Hra)
0 - 100	SATISFACTORIA	275 mg/m ³	150 mg/m ³	0.13 ppm	0.21 ppm	13 ppm	.11 ppm
100-200	NO SATISFACTORIA	546 mg/m ³	350 mg/m ³	0.35 ppm	0.66 ppm	22 ppm	.23 ppm
200-300	MALA	637 mg/m ³	420 mg/m ³	0.56 ppm	1.10 ppm	31 ppm	.35 ppm
300-500	MUY MALA	1000mg/m ³	600 mg/m ³	1.00 ppm	2.00 ppm	50 ppm	.60 ppm

EFFECTOS DE LA CONTAMINACION

Los contaminantes presentes en el aire tienen distintos grados de toxicidad en el ser humano, los animales o vegetales. A la vez, y dependiendo de las condiciones de humedad, son agresivos a los materiales, edificaciones y monumentos de la ciudad. De esta forma, de los contaminantes comunes entre los más tóxicos se encuentra el plomo y dentro de los menos tóxicos, el dióxido de carbono. Cabe aclarar que ninguno de los contaminantes listados deja de ser nocivo a la salud.

Efectos En La Salud.

Monóxido De Carbono

Al ser inhalado, el CO interfiere con el transporte del O₂ a los tejidos, porque la hemoglobina tiene una afinidad de 200 veces mayor por el CO que por el O₂. De esta manera, el CO reacciona con la hemoglobina formando carboxihemoglobina (COHb), lo que limita la distribución de oxígeno al cuerpo. A niveles altos de CO en el aire se deteriora la percepción visual, la destreza manual y la habilidad para aprender.

La exposición a altos niveles de monóxido de carbono puede ser perjudicial cuando la gente toma medicamentos, ingiere bebidas alcohólicas o vive en altitudes elevadas.

Ozono

Altas concentraciones de ozono puede provocar cambios transitorios medibles en la función pulmonar y afectar las vías respiratorias en personas sanas que realizan ejercicio y actividades recreativas en exteriores. Los efectos del ozono son potencialmente por la presencia de otras variables ambientales.

Oxidos De Nitrógeno

Estudios de salud ocupacional han demostrado que el dióxido de nitrógeno puede ser fatal a concentraciones elevadas. A niveles de concentración media, puede irritar los pulmones, causar bronquitis y neumonía, y disminuir la resistencia a infecciones respiratorias tales como la influenza; en niveles que actualmente se respiran en el aire no existe evidencia científica de efectos adversos en humanos derivados de la exposición a largo plazo al dióxido de nitrógeno.

Hidrocarburos

La importancia de los hidrocarburos, estriba en su contribución a las formación del ozono y por lo tanto, a sus efectos. Además, ciertos hidrocarburos cíclicos aromáticos presentes en las gasolinas de alto octano, como el benceno, resultan particularmente tóxicos.

Bióxido De Azufre

El bióxido de azufre es un irritante respiratorio muy soluble, por lo que la mayor parte de lo que se inhala se absorbe en la nariz y en las vías respiratorias superiores, siendo muy escasa la cantidad que llega a los pulmones. En una atmósfera contaminada con partículas suspendidas, el bióxido de azufre puede resultar perjudicial, al ser transportados por éstas hasta los tejidos de los pulmones.

Partículas

La contaminación por partículas puede causar el deterioro de la función respiratoria en un corto plazo. En el largo plazo, puede contribuir a enfermedades crónicas. Las partículas finas conocidas como PM10, son nocivas porque pueden afectar directamente a los pulmones. Entre los grupos poblacionales más sensibles a los efectos de las partículas finas respirables, están las personas con influenza, enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares, los niños y los ancianos. Otros grupos considerados sensibles son los fumadores y los atletas debido a su respiración forzada durante el ejercicio.

Efectos en la Vegetación

Además de los efectos en los seres humanos, la contaminación afecta a las plantas. las hojas son el principal indicador de la contaminación del aire sobre ellas. El ozono daña los tejidos superficiales e intermedios de las hojas, lo que se manifiesta en manchas café rojizo que se vuelven blancas después de pocos días. Por otra parte, el crecimiento de las plantas puede ser inhibido por una exposición continua al NO₂; exposiciones más intensas o prolongadas pueden producir manchado en la superficie de las hojas debido a la pérdida de protoplasma o necrosis.

IV.2 Procesos Urbanos y Emisión de Contaminantes.

INDUSTRIA

En la Ciudad de México hay más de 30 mil establecimientos industriales, de los cuales alrededor de 4 mil contribuyen significativamente a la emisión de contaminantes, por su tamaño y procesos de fundición de hierro y acero, textil de minerales no metálicos, hule, papelera, alimenticia, vidriera, de plásticos, metal mecánica, grasas y aceites, y cementera.

La industria química y metalúrgica son particularmente agresivas al medio ambiente, y lo son más cuando sus procesos están tecnológicamente atrasados y no poseen equipo de control de emisiones. En general, la obsolescencia y poco control de los procesos de combustión, el empleo de combustibles con alto contenido de azufre y uso de solventes, causan las mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera.

En cuanto a la cobertura de equipos de control de emisiones en la industria, inspecciones realizadas permiten señalar que su uso es muy limitado y deficiente. En la mayoría de los casos, las industrias que poseen dispositivos de control lo hacen para capturar polvos fugitivos, tanto por necesidades del proceso, como para evitar pérdidas. El nivel de operación y mantenimiento de los equipos de control es bajo, dando como resultado que, aunque se tengan equipos anticontaminantes éstos, no operan eficientemente de acuerdo a su diseño.

El control de gases de combustión en calderas de mediano y gran tamaño es prácticamente inexistente. En este tipo de sistemas es necesaria una capacitación de los operadores y equipos de control del proceso. La operación correcta de una caldera implica que las temperaturas dentro de la cámara de combustión sean muy altas y por lo tanto que las emisiones de NOx sean elevadas. La instalación de quemadores de bajos NOx es una alternativa para el control de estas emisiones, sin embargo no es la única.

ESTABLECIMIENTOS DE SERVICIOS

Se estima que en ZMCM operan 12 mil establecimientos de servicios que poseen procesos de combustión e incineración de acuerdo con la magnitud y tipo de calderas, cada giro emplea distintos combustibles. Los baños públicos, panificadoras, hoteles, deportivos y hospitales utilizan combustóleo preferentemente o diesel, las tintorerías usan principalmente petróleo diáfano, mientras los expendios de alimentos consumen gas LP.

La infraestructura de combustión actualmenete instalada en los establecimientos comerciales y de servicios es antigua, presenta un deterioro avanzado y es operada inadecuadamente. La alternativa más viable para optimizar su operación es incrementar su eficiencia de combustión, por medio de una mayor regulación de la relación aire/combustible, incluyendo el control de la temperatura del combustible, la eventual situación de quemadores, la adecuada capacitación de los fogoneros, y sobre todo, la reducción del azufre contenido en el diesel y combustóleo, como medida general que mejorará en forma significativa la calidad del aire.

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Las centrales termoeléctricas Jorge Luque y Valle de México producen en conjunto más del 9% del total de los contaminantes emitidos por el conjunto de industrias y establecimientos comerciales y de servicio (fuentes fijas). Sus emisiones de dióxido de azufre han disminuido en 80% con la sustitución de combustóleo por gas natural, no obstante las emisiones de NOx siguen siendo importantes porque éstos se generan en todo el proceso de combustión.

PRODUCCION Y DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLES.

Este rubro genera alrededor del 14% de la contaminación proveniente de fuentes fijas, casi la tercera parte de estas emisiones están constituidas por hidrocarburos, y alrededor de la sexta parte por bióxido de azufre. Los vapores de gasolinas y combustibles en general son especialmente nocivos a la salud, las principales fuentes de hidrocarburos crudos provienen de centros de proceso, distribución, transporte y almacenamiento. Es por ello que el mejoramiento de los combustibles que se emplean en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), constituye la estrategia principal de programas a futuro, tanto desde el punto de vista económico y financiero, como de las metas que se pueden alcanzar en la reducción de emisiones contaminantes.

El compromiso que se ha impuesto PEMEX es el de producir mejores combustibles en los plazos más cortos. Para ello, ya se han realizado importantes erogaciones, para adicionar Metil-Terbutil-Eter (MTBE) a las gasolinas y distribuir la nueva gasolina Magna Sin. Adicionalmente, se han gestionado recursos financieros del exterior para intervenir en la eliminación de los elementos y compuestos nocivos a la salud de los ecosistemas.

TRANSPORTE

La extensión del área urbana y la vida económica y social de la Ciudad, obliga a sus habitantes a transportarse en grandes distancias para cumplir con sus actividades cotidianas. Se estima que diariamente se realizan 29.5 millones de viajes, los cuales necesitan de 2 millones 372 mil autos privados, 57 mil taxis, 69 mil combis y microbuses, 10 mil 500 autobuses urbanos, 8 líneas del metro con 2.250 vagones, dos líneas de tren ligero y 450 trolebuses. (Cifras DDF 1993)

Además se estima que circulan en ZMCM cerca de 196 mil camiones a gasolina distribuidores de mercancía y 60 mil camiones de diesel que mueven carga y pasajeros de rutas foráneas. En todos estos medios de transporte el taxi y el automóvil privado emiten mayor carga contaminante por kilómetro transportado.

Es por ello que las emisiones vehiculares representan el 70% total de emisiones contaminantes a la atmósfera en la ZMCM, por lo que los autos privados emiten más de la mitad de contaminantes de origen vehicular y al emplear gasolina con altas concentraciones de plomo, generan aparte de este contaminante, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas.

Por otra parte los taxis, combis y microbuses emiten en conjunto el 24% de las emisiones vehiculares, representando el grupo de transporte colectivo con mayor aportación contaminante por kilómetro recorrido. A principios de 1991, Ruta 100 emitirá menos del 1% de los contaminantes originados por este sector.

Los camiones de carga a gasolina emiten más del 26% de los contaminantes de origen vehicular, mientras que los camiones de carga de diesel registrados en la ciudad representan alrededor del 2% de la contaminación emitida por vehículos automotores. Sin embargo su contribución en bióxido de azufre y partículas es muy elevada. Esta cifra no incluye a vehículos a diesel que estén en el registro federal de autotransporte de carga y descarga de pasajeros.

CAPITULO V

ORIGEN DE LAS EMISIONES

CAPITULO V

ORIGEN DE LAS EMISIONES

V.1 Tipos de Motores en los Automóviles

Han transcurrido unos setenta años, desde que el motor de combustión interna hizo su primera proclama como una fuente de energía. Durante estos años, el motor de combustión ha reemplazado al motor de vapor y en la actualidad, solamente la turbina de vapor es comparable con él, por lo que respecta a la cantidad de energía producida. El progreso del mundo ha sido influido en gran parte, por este tipo de motor y en el campo de la aviación, no se ha encontrado todavía un sustituto satisfactorio.

En un motor de combustión externa, los productos de la combustión del aire y el combustible, le transfieren calor a un segundo fluido, el cual se convierte en el fluido motriz o elemento productor del trabajo. En este tipo de motor los productos de la combustión son, directamente el fluido motriz; debido a este rasgo simplificador y al alto rendimiento térmico resultante, el motor de combustión es una de las unidades generadoras de trabajo más ligeras (en peso) que se conocen y, por lo mismo, su mayor campo de aplicación es, en la transportación.

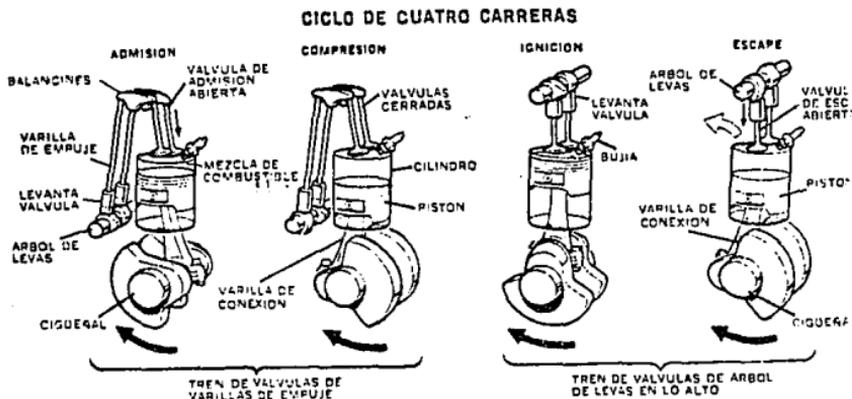
EL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA (ECH)

La mayoría de los motores de combustión interna utilizan el principio de embolo recíprocante, según el cual, un embolo se desliza dentro de un cilindro, hacia atrás y hacia adelante y transmite una fuerza a la flecha motriz, por lo general, mediante un simple mecanismo de biela y manivela; las generalidades de los motores encendidos por chispa (ECH) son:

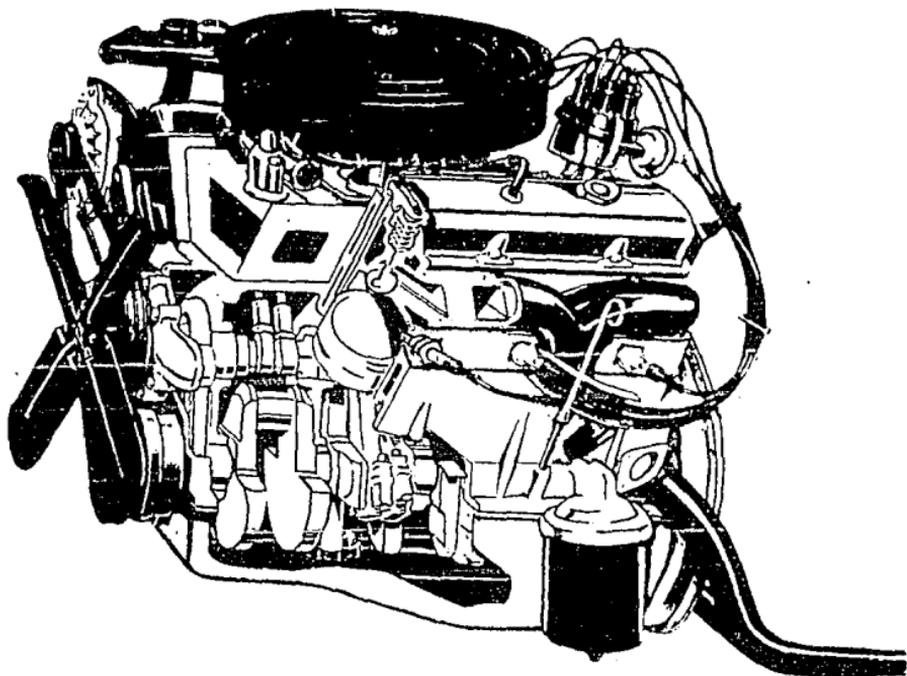
1. Una carrera de admisión para inducir una mezcla combustible hacia el interior del cilindro del motor (válvula de admisión abierta).
2. Una carrera de compresión, para elevar la temperatura de la mezcla (ambas válvulas cerradas).
3. Al final de la carrera de compresión, ocurre la chispa y el incendio consecuente de la mezcla homogénea, liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases; en seguida desciende el embolo en la carrera de expansión o de potencia (ambas válvulas cerradas).

4. Una carrera de escape, que barre al cilindro, dejándolo libre de los gases quemados, (válvula de escape abierta).

Al tratar sobre el motor de émbolo recíprocante, se emplean frecuentemente los términos: "desplazamiento, volumen de compresión y relación de compresión". El desplazamiento (D), es el volumen en (cm³) (plg³) barrido por el émbolo en una carrera (n veces este valor para un motor con n cilindros); El volumen de compresión (C), es el volumen de los gases comprimidos y es también el volumen de la cámara de combustión; La relación de compresión es la adición del volumen de compresión y el desplazamiento, entre el mismo volumen de compresión. La mayoría de los motores ECH tienen relaciones de compresión muy próximas de 7 a 1 (en otros casos existen motores con una relación de compresión de 8 a 1). La siguiente figura muestra el ciclo antes descrito.



En todos los motores de émbolo recíprocante, éste llega necesariamente a una completa inmovilidad, en dos posiciones particulares del cigueñal antes de invertir la dirección de su movimiento: el émbolo ha pasado precisamente del límite inferior de su carrera: a esta posición se le llama "punto muerto inferior (PMI). Existe una posición muerta semejante, o etapa sin movimiento del émbolo, en el instante en que éste llega al punto muerto superior (PMS). Debido a esta posición muerta, la combustión de la mezcla en el motor otto ocurre prácticamente a volumen constante. En vista de que la carrera de potencia sólo existe en una parte del tiempo total del ciclo, se emplea un volante para hacer uniformes dichos impulsos, obteniendo así, esencialmente, una rotación uniforme del cigueñal.



Sección transversal de un motor ECH, ciclo de cuatro carreras con válvulas en la cabeza.

Como una chispa puede encender solamente a una mezcla combustible, si se desea que la llama se propague a través de ella, deberán estar presentes en toda la cámara de combustión, las cantidades de aire y combustible en una proporción razonablemente definida y homogénea (aproximadamente 15 partes de aire por una de combustible, en peso). Un carburador, es el medio usual para obtener la relación aire-combustible: cuando el émbolo desciende en la carrera de admisión, aspira aire a través del venturi, aire que está a la presión atmosférica, aproximadamente. Debido al pequeño diámetro en la garganta del venturi, aumenta la velocidad del aire y por lo mismo disminuye su presión, pero la presión en el extremo de la tobera, también es menor que la presión (atmosférica) dentro de la cámara del flotador. Por esta diferencia de presiones, el combustible es pulverizado dentro de la corriente de aire, en una cantidad tal, que es determinada por el tamaño del orificio medidor; nótese que si aumenta la velocidad del motor, aumenta la cantidad de aire aspirado a través del venturi y, por lo mismo, se crea mayor caída de presión y proporcionalmente se pulveriza mayor cantidad de combustible, en el seno de la corriente de aire. En consecuencia, un carburador es hábil para mantener una relación aproximadamente constante, entre el aire y el combustible, en toda la amplitud de velocidades posibles del motor.

El esfuerzo de giro aplicado al cigüeñal, depende de la masa de la mezcla quemada en cada cilindro, por ciclo, y se controla restringiendo la cantidad de mezcla (no necesariamente la relación aire-combustible), que entra al cilindro en la carrera de admisión. Esto se consigue mediante el empleo, en el carburador, de una válvula llamada estrangulador o acelerador, para obstruir el paso hacia el múltiple de admisión. En la carrera de admisión, si el acelerador está casi cerrado, entrará al cilindro solamente una pequeña cantidad de mezcla y la presión dentro de él estará muy por debajo de la atmosférica, con las correspondientes resultantes del motor será lenta y si el cigüeñal no está acoplado a una carga externa, se dice que el motor está en vacío: cuando el acelerador se abre gradualmente, la velocidad del motor irá aumentando, hasta un valor determinado por la carga externa acoplada a la flecha motriz.

Por lo tanto, la velocidad del motor se controla mediante las posiciones del estrangulador o acelerador, y también por la magnitud de la carga o pueden obtenerse diferentes velocidades manteniendo constante la posición del acelerador y haciendo variaciones en la carga.

EL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO POR COMPRESION (EC)

Un motor diesel es un motor de combustión interna en el cual la ignición del combustible se produce por el calor de la compresión. El carburador, el magneto y la bujía del motor de automóvil común, se sustituyen por la bomba de inyección de combustible y la tobera o inyector. Los principios del motor diesel lo constituyen lo que, abreviadamente, se llama ciclo diesel, para diferenciarlo del ciclo otto. Comprimiendo aire en la cámara de combustión a una presión muy alta, se produce una cantidad de calor suficiente para iniciar la ignición del combustible que se ha inyectado.

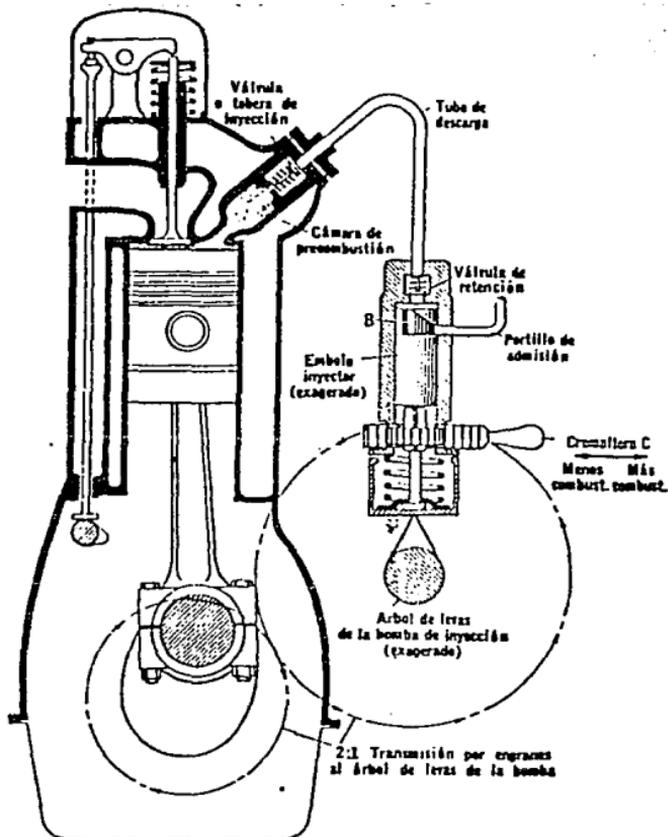
Esto se puede comprender más fácilmente, comparando las relaciones de compresión de un motor de gasolina y de un motor diesel: el motor de gasolina común tiene una relación de compresión de 5 a 1 ó de 6 a 1, y el motor diesel tiene una relación de compresión de 15 a 1; así la mezcla de aire y combustible que se halla, al fin de la carrera de compresión, en la cámara de combustión de un motor de gasolina, está comprimida en un espacio de $\frac{1}{5}$ ó de $\frac{1}{6}$ del que ocupaba al principio de la carrera. En el motor diesel, cuya relación de compresión es de 15 a 1, el aire se ve reducido al final de la carrera de compresión a un espacio de tan sólo un quinceavo del volumen a que llega al final de la carrera de admisión. En consecuencia, en un motor diesel la compresión es del orden de 35 Kg/cm^2 o mayor; el aire comprimido de esta manera se calienta hasta una temperatura de 500 ó 600 °C, que es mayor que el punto de ignición o de inflamación del combustible. Cuando se pulveriza combustible en el interior de este aire caliente, tiende lugar una combustión sin ayuda de la chispa eléctrica.

Para visualizar el motor diesel o de encendido por compresión (EC), reemplazando la bujía por una válvula inyectora de combustión y aumentando la relación de compresión; el motor diesel incorpora los siguientes ciclos de sucesos:

1. Una carrera de admisión para inducir dentro del cilindro, solamente aire (válvula de admisión abierta).
2. Una carrera de compresión para llevar al aire hasta una temperatura superior a la del punto de encendido del combustible. "actualmente se tienen relaciones de compresión de 12-1, hasta de 18-1". (ambas válvulas cerradas).
3. Inyección de combustible durante la primera parte de la carrera de expansión con una rapidez tal, que la presión se mantenga en un valor constante, siguiendo la expansión, hasta el volumen inicial del cilindro (ambas válvulas cerradas).

4. Una carrera de escape para purgar del cilindro los gases quemados (válvula de escape, abierta)

Uno de los primeros métodos empleados para inyectar combustible, fue el de valerse de una corriente de aire a presión, para arrastrarlo al interior de la cámara de combustión. Este método produjo buena atomización y buen control del proceso de combustión. No obstante, en la actualidad raramente se emplea la inyección por aire, porque es necesario disponer de un gran compresor que resulta un auxiliar costoso.



Sistema de inyección mecánico o sólido, en un motor de cuatro carreras, EC

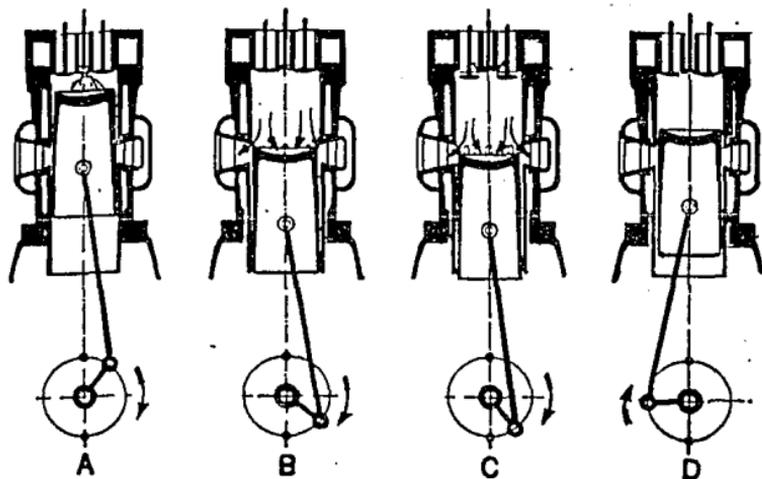
Hay dos tipos de motores diesel propiamente dichos: el motor de inyección por aire y el motor de inyección directa: en el motor de inyección por aire, el combustible se dosifica en una bomba que lo introduce en la tobera de inyección, a través de la cual penetra en la cámara de combustión; por otra parte, existe un recipiente de aire y un compresor que obliga también a que el aire a una presión de 70 a 85 Kg/cm², penetre en la tobera de inyección; en estas circunstancias, la válvula de la tobera se abre y el combustible es inyectado a la cámara de combustión a una velocidad muy grande debida a la presión del aire.

Desde el punto de vista de rendimiento de la combustión, la inyección por aire es muy conveniente, porque pulveriza el combustible y lo mezcla íntimamente con el aire produciendo una combustión perfecta, sin embargo un compresor para el aire de inyección ocuparía mucho espacio y sería excesivamente pesado.

Los motores diesel de inyección directa se llaman también de inyección sólida o de inyección mecánica sin compresor. Son como los motores de inyección por aire, pero más sencillos, porque prescinden del compresor, del recipiente de aire y del circuito de tuberías de aire de inyección. El combustible se pulveriza en el interior de la cámara de combustión, gracias a que la bomba lo inyecta a una presión de 200 a 350 Kg/cm²; este procedimiento no es siempre absolutamente satisfactorio, porque cuando se usa una tobera de un solo orificio, el combustible no se pulveriza de una manera perfecta y no se consigue que se distribuya bien en la cámara de combustión. De ello resulta que el aceite de engrase del cárter se diluye y que en el cilindro se forman depósitos de carbón. Cuando la tobera tiene varios orificios, con el objeto de pulverizar de una manera más perfecta el combustible, sucede con frecuencia que estos pequeños orificios se cierran, lo cual es causa de que el combustible se suministre irregularmente a la cámara.

Motores de Dos Tiempos

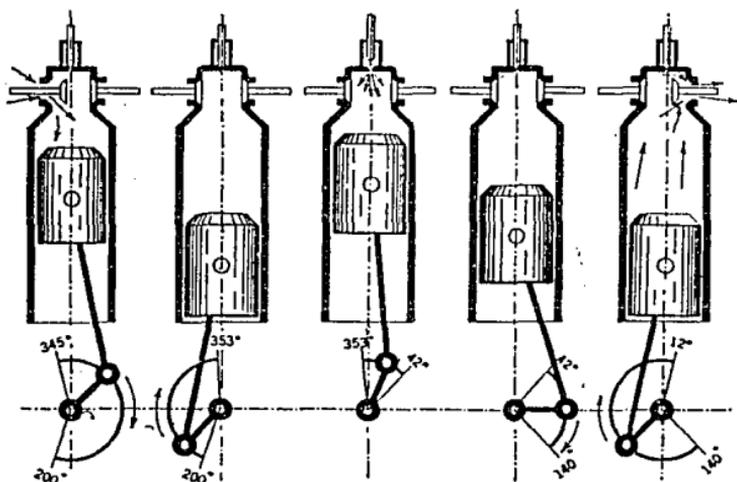
Un motor diesel se llama de dos tiempos cuando la ignición del combustible tiene lugar cada dos carreras consecutivas, es decir, en cada revolución. Los motores de dos tiempos pueden ser de simple efecto, con un impulso del motor por revolución, o de doble efecto, con un impulso del motor por carrera, o sea dos impulsos del motor por cada cilindro por revolución.



Motor diesel de dos tiempos con válvulas de barrido en la culata. A, inyección del combustible; B, expansión y comienzo del escape; C, barrido y admisión de aire para la combustión; D, compresión del aire para la combustión.

Motor de Cuatro Tiempos

Un motor se llama de cuatro tiempos cuando tiene lugar la combustión cada cuatro carreras consecutivas, es decir, cada dos vueltas del eje del cigüeñal. Los motores de cuatro tiempos pueden ser de simple efecto, en cuyo caso la presión de combustión actúa únicamente sobre una cara del émbolo (en los motores de varios cilindros en una cara de cada émbolo), y se obtiene en cada cilindro un impulso motor cada dos revoluciones. Los motores de cuatro tiempos pueden también ser de doble efecto, en cuyo caso la presión de combustión actúa alternativamente sobre cada una de las caras del émbolo (o de cada émbolo), dando en cada cilindro un impulso motor por revolución; en caso de motores de simple efecto, la presión se aplica habitualmente sobre el extremo del pistón opuesto al eje del cigüeñal.



Esquema simplificado de los movimientos de las válvulas en un motor diesel de cuatro tiempos

Principales Diferencias Entre Los Motores ECH y EC

Como ya se ha dicho, no existen diferencias sustanciales desde el punto de vista mecánico entre los dos tipos de motores; esencialmente se diferencia por sus ciclos teóricos, ya que el motor ECH funciona según el ciclo otto y el motor EC según el ciclo diesel; las diferencias fundamentales se derivan de sus ciclos.

1 Introducción del combustible. En la mayor parte de los motores ECH el aire y el combustible son introducidos en la cámara de combustión bajo forma de mezcla gaseosa a través de los conductos y las válvulas de admisión. La regularización de la cantidad introducida en el motor se consigue mediante una válvula de mariposa. Cuando el motor es a inyección, la regulación se hace sobre el aire y sobre el combustible separadamente.

En los motores EC el aire es introducido en la cámara de combustión a través de los conductos y las válvulas de admisión, mientras el combustible es inyectado directamente en el cilindro mediante un inyector. el mezclado del aire con el combustible se lleva a efecto en la cámara de combustión; generalmente no hay regulación de la cantidad de aire, sino solamente una regulación de la cantidad de combustible introducido.

- 2 Encendido. El motor de ECH requiere de un sistema de encendido de la mezcla para iniciar la combustión. El encendido se produce por medio de una chispa generada en la cámara de combustión entre los electrodos de una o más bujías.

El motor de EC la alta temperatura obtenida por la compresión del aire en el cilindro es tal que provoca el encendido del combustible apenas este es inyectado, por lo que no es necesario ningún dispositivo para el encendido.

- 3 Relación de compresión. El valor de la relación volumétrica de compresión en los motores ECH varía entre 6 y 10, salvo excepciones, mientras que en los motores EC varía desde 14 a 22.

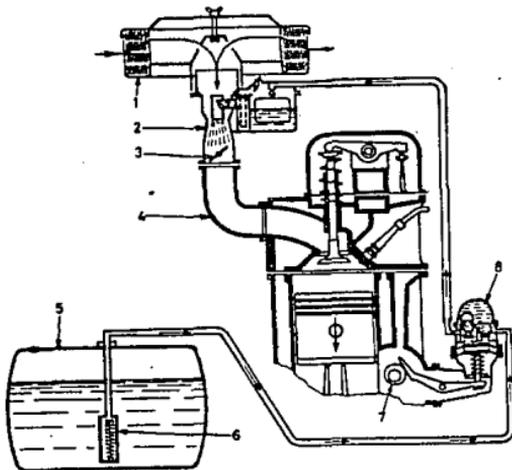
En los motores ECH el límite superior de la relación de compresión está determinado esencialmente por las características antidetonantes de los combustibles disponibles comercialmente, pero también por la forma y las características térmicas de la cámara de combustión. En los motores EC depende de parámetros que tienen relación con la forma de la cámara de combustión y con las características de la inyección.

- 4 Peso. El motor EC es generalmente más pesado que un motor ECH de igual cilindrada, porque funciona a presiones considerablemente mayores.

MOTORES DE COMBUSTION INTERNA TIPO ECH CON INYECCION ELECTRONICA

La alimentación de los motores ECH se realiza por medio de un conjunto que comprende, además del depósito de combustible, las siguientes partes:

- El filtro de aire y los conductores de admisión (o aspiración).
- La bomba de combustible con filtro y conexiones.
- Un dispositivo para mezclar el combustible - aire y regular el caudal.



Esquema del circuito de alimentación con carburador

1.Filtro de aire 2.Carburador 3. Mariposa del carburador 4. Colector 5.Deposito de gasolina 6.Filtro de deposito 7.arbol de levas 9.Bomba mecánica para la alimentación de la gasolina.

Este dispositivo es la parte más importante y sofisticada del sistema de alimentación puesto que de él dependen la rapidez y la precisión de la respuesta del motor a los mandos y a las exigencias del servicio; dos son los principios adoptados:

Con el primero la gasolina es introducida y mezclada con el aire que pasa por el conducto de admisión por efecto de la depresión creada en él por la aspiración generada por un carburador tradicional. Con el segundo la gasolina es introducida bajo presión por medio de inyectores, es decir por inyección. La inyección a alta presión directamente en los

cilindros se introdujo durante la segunda guerra mundial en los motores de aviación alemanes. hoy en día el tipo de alimentación más difundido es a baja presión en los conductos de aspiración por medio de inyectoros dispuestos cada uno cerca de la válvula de admisión de cada cilindro: a esto se le llama también multichorro (multipoint) para distinguirlo del más reciente carburador a inyección en el cual se disponen uno o más chorros como el carburador tradicional: esta disposición se le llama single point. El éxito de la inyección es consecuencia de la introducción de la electrónica para el control de la alimentación como medio para reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes.

En los motores para vehículos la carburación por inyección se ha desarrollado progresivamente primero bajo el empuje de las investigaciones sobre mejores prestaciones y después, recientemente, para reducir las emisiones contaminantes y el consumo de combustible. La inyección tiene la ventaja potencial de un mayor rendimiento volumétrico por la ausencia del tubo venturi y el calefactor en la entrada del aire, y por lo tanto también de un menor consumo, un mayor par motor y mayor potencia. Además hace posible realizar una dosificación precisa de la gasolina en relación a la carga en toda la gama de revoluciones y en las fases de transición.

Otras ventajas son la ausencia de formación de hielo, el fácil arranque en frío, ninguna forma de condensación de gasolina, ningún problema en el caso de fuertes aceleraciones positivas o negativas cualquiera que sea la posición del motor, no siendo necesaria la cuba de nivel constante característica de los carburadores tradicionales.

La inyección directa en la cámara de combustión presenta problemas funcionales y tecnológicos como son:

- La presión de inyección tiene que ser alta.
- El tiempo de duración del chorro muy breve.
- El inyector debe resistir la temperatura elevada del interior de la cámara.

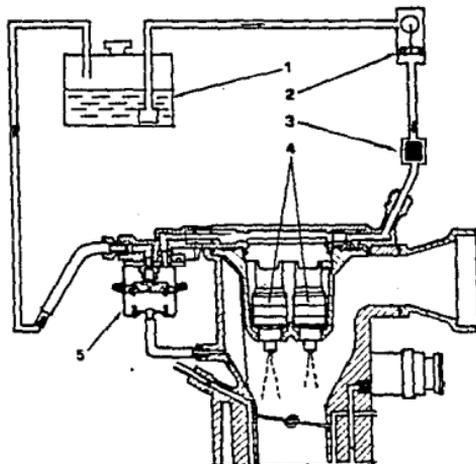
Por lo que la fabricación es extremadamente precisa, con tolerancias muy estrechas, y las piezas deben ser robustas, relativamente pesadas, y en definitiva, el costo resulta elevado.

La inyección indirecta se realiza en los conductos individuales de admisión a los cilindros o en la entrada del colector donde normalmente se aplica el carburador tradicional; este tipo de inyección presenta las siguientes ventajas:

- Presión relativamente baja.
- No requiere de una bomba impulsada mecánicamente en fase con el motor.
- Los inyectores no están sometidos a altas temperaturas.

Por lo tanto, la inyección puede ser de dos tipos:

- Multichorro, es decir, con un inyector correspondiente a cada válvula de admisión cercano a la entrada.
- Momochorro en el carburador a inyección, es decir, con inyección en un sólo punto (single point) a la entrada del colector de admisión de la mezcla.



Esquema de carburador a inyección (single point inyección)

1. Depósito 2. Bomba de combustible 3. Filtro
 4. Electroinyectores 5. Válvula de regulación de la presión del carburador.

La posición más racional es evidentemente cerca de la válvula de admisión: la influencia de las aspiraciones de los demás cilindros se hace sentir de manera despreciable. despreciable es también la condensación de gasolina que se evapora al contacto con la válvula de admisión relativamente caliente, es mínimo el riesgo de una desigual distribución del combustible entre los cilindros. Por estas razones la inyección con la inyección por cilindro se ha impuesto y es la más difundida en los automóviles.

En Europa los mayores méritos en este sector deben atribuirse a la Bosch que desarrolló en Alemania la inyección a baja presión tanto multichorro como single point con regulación de la dosificación, tanto mecánica como electrónica.

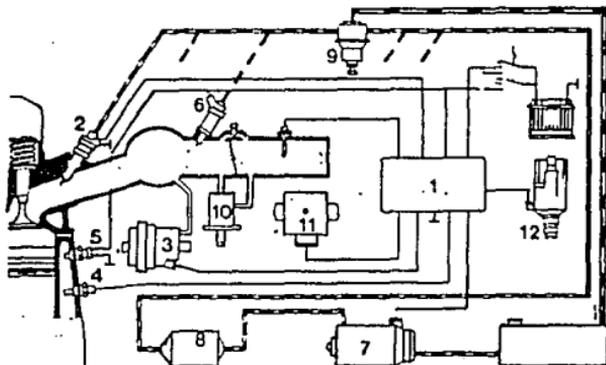
Los dispositivos realizados por la Bosch han sido llamados K-Jetronic el de control mecánico. D & L-Jetronic los de control electrónico. En el sistema K-Jetronic la inyección es continua y la bomba eléctrica del carburador proporciona una presión de 4.7 bar que se reduce a 3.3 bar cuando llega a los inyectores del combustible. En los sistemas D & L-Jetronic la inyección es intermitente, repartida en dos veces por cada ciclo de 4 tiempos, y la presión se mantiene entre 2 y 3 bar, según el motor variando en relación con la presión en el conducto de admisión. También la Webbe ha desarrollado sistemas similares.

Sistema de Inyección Bosch D & L - Jetronic

En los sistemas D & L-Jetronic, una central electrónica cumple las funciones que en el K-Jetronic están confinadas a la unidad de regulación y reparación del carburante. La central regula la duración del chorro de cada electroinyector por medio de una válvula accionada por un solenoide y contenida en el mismo inyector.

Unos sensores de medida obtienen las condiciones de trabajo del motor, transmiten las informaciones a la central electrónica en forma de señales eléctricas y ésta determina las necesidades de carburante y controla los inyectores que dosifican e inyectan la cantidad justa que necesita el motor; la regulación electrónica sustituye partes mecánicas que podrían gastarse o deteriorarse, y tiene la ventaja de ser más precisa y de responder a un mayor número de variables.

Puesto que los inyectores se abren eléctricamente, la presión de inyección es más baja que la que se necesita para los inyectores del sistema K. Los cuales se abren a causa de la presión. Además, para asegurar una distribución uniforme de la gasolina a todos los cilindros, ésta es inyectada por mitades, dos veces en cada conducto durante cada ciclo de 4 tiempos, es decir, cada 360 de rotación del árbol de distribución.

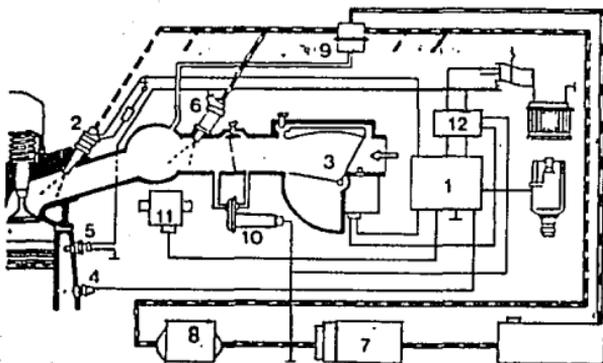


Esquema del sistema Bosch D - Jetronic

1. Central electrónica de control 2. Electroinyectores 3. Sensor de presión 4. Sensor de temperatura 5. Interruptor térmico 6. Electro-interruptor de arranque en frío 7. Electrobomba de alimentación 8. Filtro 9. Válvula de regulación de presión. 10. Válvula de aire adicional 11. Interruptor en la mariposa 12. Contactos de conexión de la inyección.

El comienzo de cada inyección es transmitido a la central por un contacto del distribuidor de encendido y la central responde cada segunda señal en los motores de 4 cilindros y cada tercera señal en los motores de 6 cilindros. La duración del chorro es regulada en el sistema D en relación con la presión del aire en el colector de aspiración, mientras que el sistema L es regulada con la cantidad de aire.

La duración de inyección depende principalmente de la señal emitida por el medidor del caudal de aire, pero tiene que ser variada en relación con otras señales provenientes de otros sensores; la velocidad del motor es señalada por la frecuencia de los contactos del distribuidor de encendido; un interruptor unido a la válvula de mariposa interviene para solicitar un enriquecimiento de la mezcla a plena carga o en relenti; un sensor de temperatura sirve para corregir la duración de la inyección en relación con la densidad del aire.



Esquema del sistema Bosch L - Jetronic

1. Central electrónica de control 2. Electroinyector 3. Medidor de la cantidad de aire 4. Sensor de temperatura 5. Interruptor térmico de tiempo 6. Electroinyector de arranque en frío 7. Electrobomba de alimentación 8. Filtro de carburante 9. Regulador de presión del carburante 10. Válvula de aire adicional 11. Interruptor en la mariposa 12. Relé compuesto.

Si se precinde de la central electrónica, los sistemas D & L resultan más sencillos que el K porque el combustible es enviado por la bomba eléctrica al filtro y de ahí directamente a los inyectores a través de un simple regulador de presión que manda de regreso al depósito la parte excedente.

MOTORES TURBOCARGADOS

La carga admitida en un motor puede aumentar mediante el empleo de un sobrealimentador que comprime y forza el aire o a la mezcla en el motor a una presión superior a la atmosférica. La potencia de salida viene limitada por las características de picado del combustible, supuesto que los mecanismos del motor pueden resistir los esfuerzos a los que están sometidos. La sobrealimentación puede utilizarse para aumentar la carga a todas las velocidades, pero es particularmente conveniente a alevadas velocidades, ya que los motores con aspiración normal tienen, normalmente, rendimientos volumétricos bajos en estas condiciones. La sobrealimentación es muy conveniente en motores de aviación, sin embargo, este sistema puede aplicarse a motores de combustión interna de diesel o gasolina.

La sobrealimentación incrementa ligeramente el rendimiento volumétrico de un motor, ya que los gases del espacio muerto son comprimidos por la carga introducida hasta una presión más elevada que la del escape, esta característica se basa en las condiciones en el colector entre el sobrealimentador y el motor; sin embargo el rendimiento de carga aumenta muy apreciablemente.

El análisis del proceso de un motor con sobrealimentación pone de manifiesto que la sobrealimentación ideal aumenta la potencia de salida, pero disminuye ligeramente el rendimiento térmico, aunque las pérdidas por rozamiento en el motor aumenten con la sobrealimentación, la presión crece más rápidamente, y el rendimiento mecánico del motor aumenta, por lo general, con la sobrealimentación. Así, el rendimiento térmico al freno puede aumentar con la sobrealimentación; y está depende de la relación de compresión, de las características de picado de la mezcla de aire y combustible y de la capacidad inherente del motor que funciona con una relación de compresión que produce una relación adecuada.

No obstante, en la actualidad las armadoras de autos (Nissan Motor Co., Ltd.), han incorporado nuevas tecnologías en sus diseños de autos y en su motor, ya que algunos de ellos, introducen un sistema de control electrónico (ECCS), el cual es controlado por un microprocesador, este sistema está provisto por un motor de 2.8 litros de desplazamiento turbocargado e inyección electrónica, resolviendo de esta manera la pérdida de potencia y el ahorro de combustible, además que algunos sistemas contienen un compensador de la presión barométrica y un control de avance, ambos avances son eficientes sin tener que aumentar el peso del vehículo; así el Datsun 280ZX es el resultado de un avance tecnológico, ya que el turbocargado permite un incremento en el poder de la

maquina sin tener que aumentar las dimensiones del vehiculo asi como su peso, no obstante en el desarrollo de los motores turbocargados han solucionado algunos problemas técnicos, los cuales hacen que el motor tenga mayor potencia con un ahorro de combustible, pero las emisiones de contaminantes, principalmente los NOx se incrementan, debido a las altas temperaturas en que se realiza la combustión.

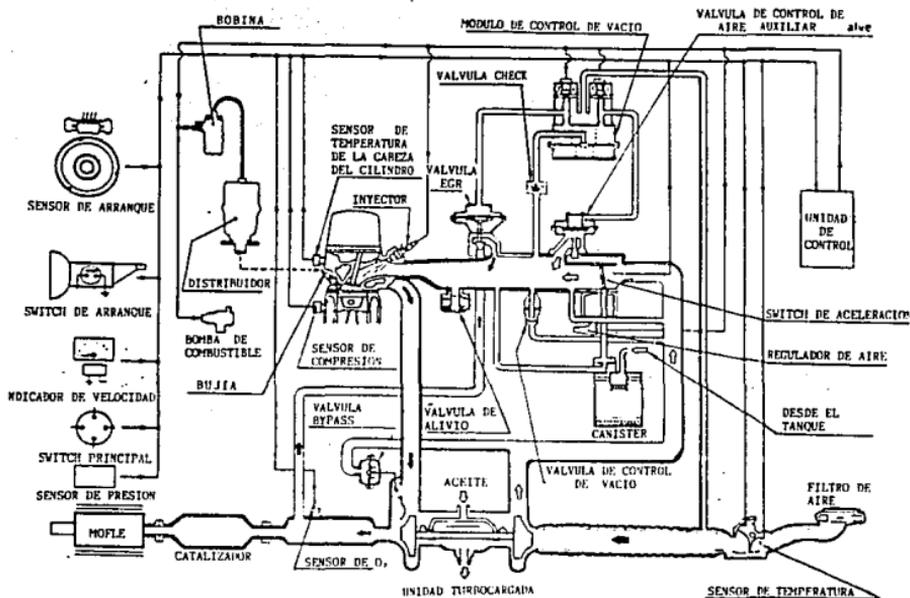
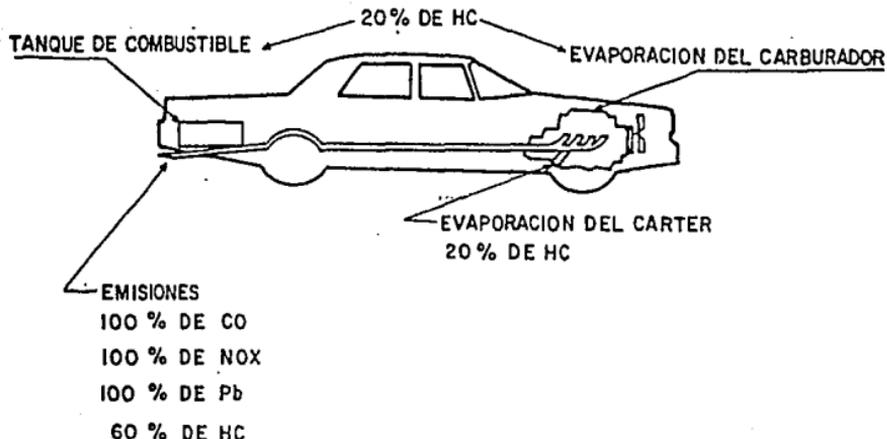


Diagrama de un Sistema de Control Electrónico Turboalimentado Datsun 280ZX 2.753 cc.

V.2 Composición y Naturaleza de Los Gases del Automóvil

En un vehículo con motor de gasolina, los puntos principales de emisión de contaminantes son: el tanque de combustible, el motor y el carburador. Dentro de estos tres puntos el que origina la mayor cantidad de contaminantes emitidos en la atmósfera es el motor, en el cual se efectúa el proceso de combustión que se lleva a cabo en el interior de los cilindros, según se observa en la siguiente figura:



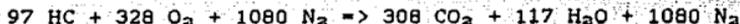
Idealmente, un motor recibe una mezcla estequiométrica de combustible y aire en el proceso de combustión se produce dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y nitrógeno (N_2). Este proceso nunca es completo de manera que se emiten a la atmósfera varios contaminantes en los gases del escape:

- Monóxido de carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Oxidos de nitrógeno (NO_x)
- Partículas

El motor de gasolina es una máquina térmica de combustión interna que desarrolla potencia quemando una mezcla de aire y combustible en los cilindros del motor. El principio de operación se le conoce como ciclo de Otto; En el ciclo completo, la presión máxima de operación será de 30 - 40 atm. absolutas y la temperatura estará entre 220-2500 °C. La presión de salida es usualmente poco superior a la atmosférica y la temperatura de los gases de salida estará entre 500 - 850 °C

Una estimación teórica de la cantidad de aire que se requiere para quemar completamente el combustible puede obtenerse con la ecuación química de la reacción de un combustible con aire.

Con una base de cálculo en Kg:



La reacción anterior nos define una combustión completa de hidrocarburos a dióxido de carbono y agua. Dicho cálculo se emplea para definir la relación aire-combustible (A/F), es decir la relación de masa de aire por unidad de masa de combustible:

$$\frac{A(\text{masa de aire})}{F(\text{masa de combustible})} = \frac{1080 + 328}{97} = 14.5 \sim 15.0$$

Una mezcla de aproximadamente 15 partes de aire por una de gasolina (llamada mezcla perfecta) asegura la combustión completa de la gasolina, aunque dicha proporción no supone potencia ni economía máxima. Cuando dicha relación se aleja de la proporción mencionada, la combustión no es completa y se emiten a la atmósfera otros gases como el monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, así como óxidos de nitrógeno que se producen dependiendo de la riqueza de la mezcla.

Para comprender el porque no se realiza la combustión completa del combustible debemos regresar al proceso de ignición el cual teóricamente se efectúa en la forma siguiente:

Las ondas de presión creadas por la combustión de la mezcla aire combustible que se oxigena en los electrodos de la bujía van comprimiendo paulatinamente a la mezcla que se encuentra más lejana aumentando la temperatura de autoignición de ésta, la cual detona antes de que el frente de la flama la alcance, ya que esta tarda en propagarse a lo largo del seno de la mezcla al observar la figura (5.2) se aprecia que existe una zona entre el frente de flama y la combustión por autoignición en donde se encuentran las temperaturas más frías que favorecen la formación de hidrocarburos no quemados. Estos también son formados cuando la mezcla aire-combustible entra a los cilindros y en las paredes de éstos se depositan parte de los hidrocarburos que constituyen la gasolina; la diferencia de temperaturas entre la pared inferior del cilindro y el medio enfriante que circula por la parte

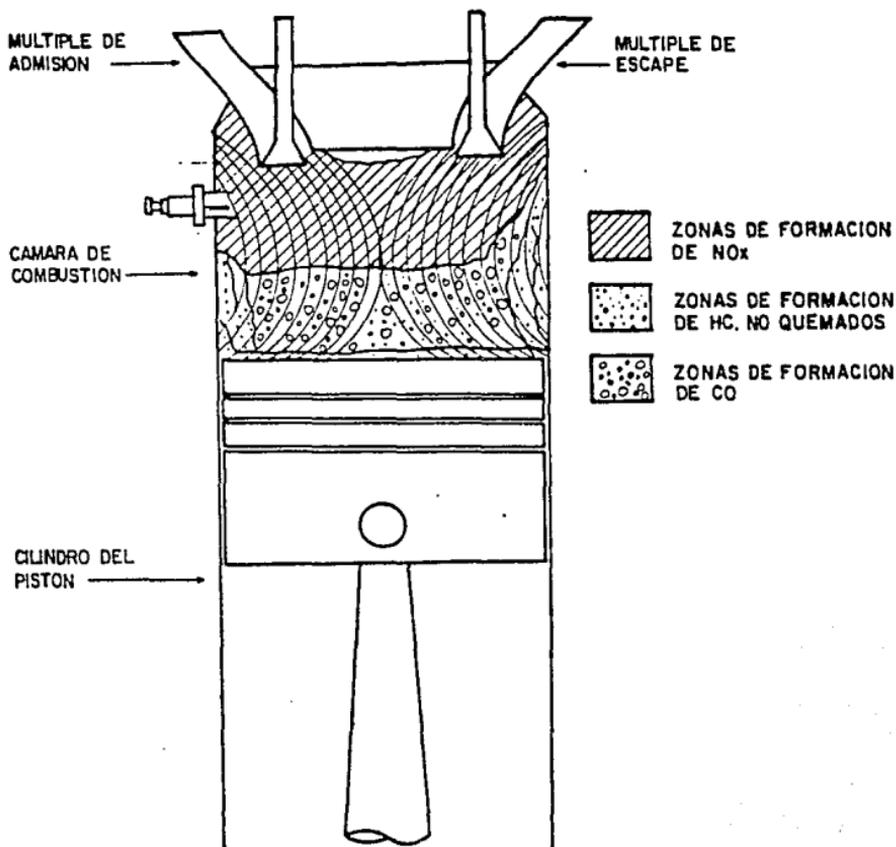


FIG. 5.2 Zonas de Formación de Contaminantes en la Cámara de Combustión en los Cilindros

exterior del cilindro que puede ser agua o aire, propicia que los hidrocarburos cercanos a las paredes no sean en su totalidad. Por otra parte, la formación de hidrocarburos pesados, que son emitidos en los gases de escape, se debe principalmente a un mal ajuste o desgaste excesivo en los anillos de compresión del embolo, pasando aceite lubricante al interior de la cámara de combustión. También es posible que pase aceite lubricante a través de las gomas, asientos de válvulas y por las válvulas que se encuentran en mal estado. Una pequeña parte de aceite lubricante es quemado en el interior de la cámara de combustión debido a que los anillos lubricados constantemente en cada carrera y siempre existirá un arrastre al interior de la cámara de combustión de éste y la formación de depósitos carbonosos.

En un automóvil, puede hablarse de un ciclo de manejo desde que se enciende el motor frío, se maneja a través de la ciudad y se detiene en un destino no muy lejano del origen. En las diferentes etapas de manejo, las relaciones aire-combustible no son las mismas y la proporción de los gases contaminantes durante el ciclo varían; como consecuencia de lo anterior, en la figura (5.3) puede observarse la variación de emisiones dependiendo del ciclo de manejo y el tiempo, así como la variación del flujo en el tiempo, dependiendo de la velocidad. En el arranque en frío se requiere una mezcla rica en combustible que comprenda por ejemplo una parte de aire y una de combustible. A velocidad de cruce se requiere una mezcla de (A/F) de 15:1 por ejemplo, las características que debe reunir la mezcla suelen ser las siguientes:

- Riqueza para el arranque.
- Menor riqueza a poca velocidad o relenti.
- Poca riqueza para velocidades moderadas.
- Alta riqueza para aceleración y alta velocidad.

En la actualidad los motores se diseñan para producir mezclas pobres por ejemplo 16:1, para una mayor economía cuando el auto viaja a velocidad media. El motor también está diseñado para producir mezclas ricas por ejemplo 8:1, para evitar que el auto se ahogue o sea saturado de hidrocarburos no volátiles, durante el encendido y para producir una máxima potencia en la aceleración y en altas velocidades.

Por lo tanto a consecuencia de la combustión incompleta y a las características del combustible, son emitidos a la atmósfera diversos contaminantes. La proporción en que se encuentren dependerá principalmente de la relación aire-combustible, según la gráfica (5.4).

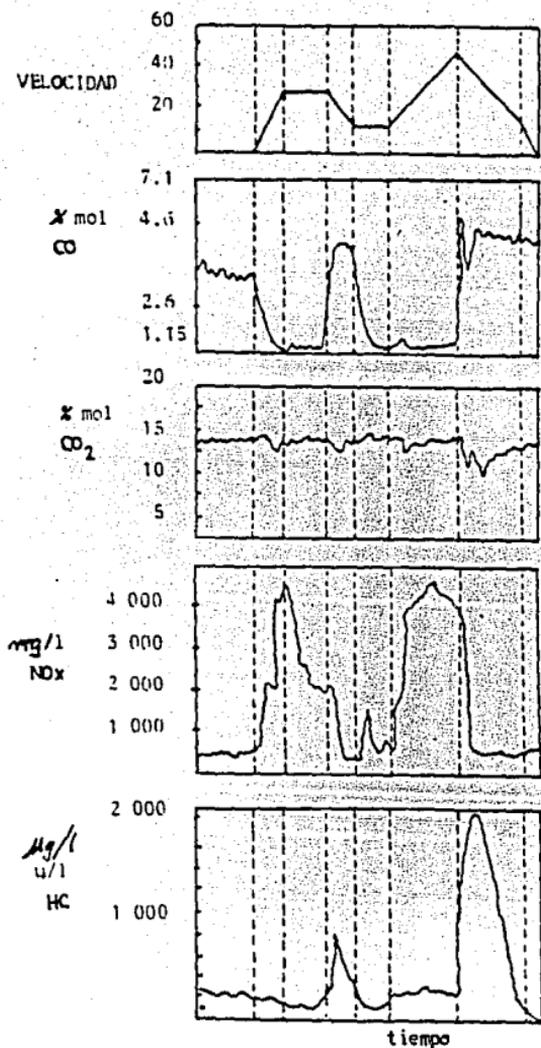


FIG. 5.3 Emisiones Típicas en un Ciclo de Prueba de Manejo
Weekman. V. (1978)

MONOXIDO DE CARBONO

Este contaminante se produce en mayor cantidad cuando se tienen mezclas ricas en combustible. Su presencia es resultado de alguno de los siguientes procesos químicos:

- A) Insuficiencia de oxígeno, ya que se da una combustión incompleta y se favorece la reacción siguiente:



- B) Altas temperaturas (arriba de 300 °C), ya que algunos hidrocarburos que se encuentran cercanos a los electrodos de la bujía sufren una rápida oxidación y reaccionan con el CO₂ propiciando la formación de CO.
- C) Enfriamiento súbito. Se produce al detenerse bruscamente la combustión de la gasolina por una súbita expansión dentro del cilindro debido al movimiento descendente del émbolo al realizarse la combustión de la gasolina.

HIDROCARBUROS

Las máquinas de combustión interna y con un patrón de manejo representativo pueden producir de 100 a 2000 ppm de HC; los periodos de trabajo en punto muerto y desaceleración son los que producen más hidrocarburos no quemados.

Se debe principalmente a la deficiente combustión de la mezcla aire-combustible por el depósito de los combustibles en las partes metálicas, como se mencionó anteriormente. La presencia de hidrocarburos no quemados con alto peso molecular son oxigenados cuando penetra aceite lubricante del carter hacia la cámara de combustión. Se han encontrado muchos hidrocarburos en los gases de escape; la composición depende mucho de la forma de manejo; por ejemplo, la desaceleración favorece la formación de acetilenos, mientras que la aceleración favorece la formación de olefinas.

OXIDOS DE NITROGENO

Se encuentran principalmente como óxido nitroso (NO) y como óxido nítrico (NO₂), siendo el primero en mayor cantidad en escapes vehiculares. Son producidos por la oxidación del N₂ durante la combustión a temperaturas elevadas.



La primera de estas reacciones es endotérmica y necesita de temperaturas muy altas en condiciones de mezcla con pobreza de combustible, cuando el NO se forma en las zonas próximas al punto de ignición.

BIOXIDO DE AZUFRE

En la gasolina empleada como combustible se encuentran hidrocarburos con cadenas que contienen átomos de azufre, llamados mercaptanos. El azufre de dichos mercaptanos se quema en la cámara de combustión y se oxida formando varias formas de óxidos de azufre que se mantienen en los gases de escape, entre ellos el S_2O_5 , SO_2 , y SO_3 ; siendo el SO_2 el de mayor importancia y mayor concentración.

PARTICULAS

En los gases de escape se encuentran partículas de 0.02 a 10.0μ de diámetro que salen en una relación de 0.22 a 3.20 mg/g de gasolina quemada, la mayor parte de estas partículas la constituyen compuestos de plomo por el uso de tetraetilo de plomo. También se encuentran presentes algunas partículas carbonosas ya sea por mezclas muy ricas en gasolina o por un excesivo desgaste de los anillos. Un ejemplo de análisis de hidrocarburos en los gases de escape de vehículos de gasolina en los Estados Unidos de América se muestra en la siguiente tabla.

HIDROCARBUROS	PPM	
SATURADOS: - Metano	147.5	
- Etano	21.4	
- Propano	2.2	
- Otros	141.8	
TOTAL	312.9	40%
OLEFINAS: - Etileno	160.4	
- Propileno	58.4	
- Acetileno	88.0	
- Otros	67.5	
TOTAL	374.3	47%
AROMATICOS: - Benceno	21.3	
- Tolueno	49.3	
- Otros	30.7	
TOTAL	101.3	13%
TOTAL DE HIDROCARBUROS	788.6	

En la tabla anterior se encuentran también presentes algunos aldehídos, cetonas, alcoholes y ésteres en los gases de escape en concentraciones a veces de algunos cientos de ppm.

Se ha demostrado que los hidrocarburos no quemados presentes en el escape de fuentes vehiculares, ante la exposición a la energía solar y los NOx, reaccionan para formar nuevos contaminantes secundarios, entre los que destacan el ozono, con cantidades inferiores de hidrocarburos oxigenados, cuya toxicidad es muy conocida.

La reactividad fotoquímica de los hidrocarburos en la formación de l smog en orden decreciente es: olefinas, dialquil y trialquil bencenos, dielénas y loefinas terminales, etileno, tolueno y otros bencenos monoalquílicos, parafinas con seis o más átomos de carbono, propano y benceno, etano y finalmente metano.

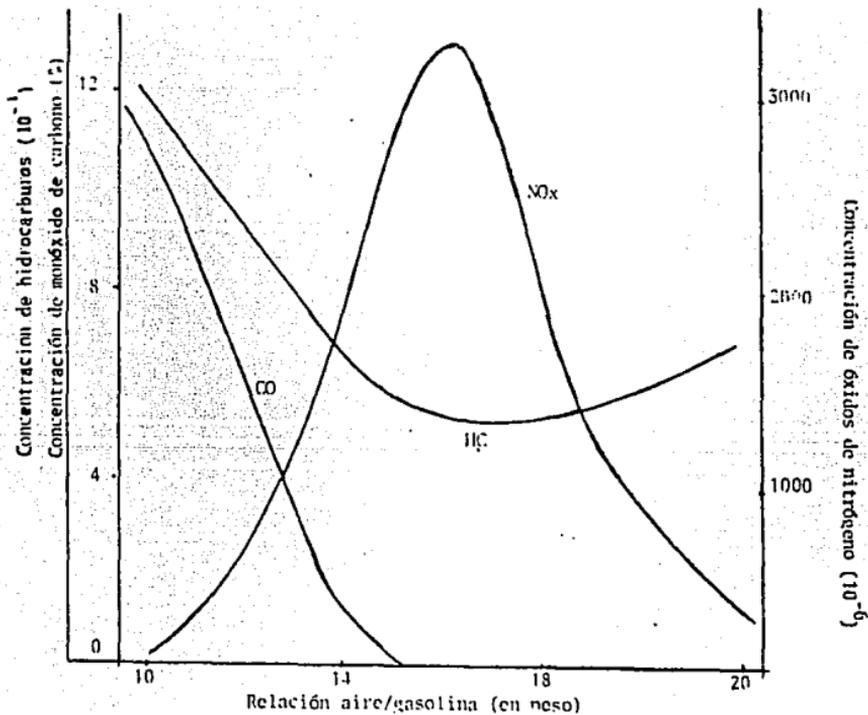


FIG. 5.4 Emisión de Contaminantes en Función de la Relación de Aire/Combustible

V.3 Comparación del Grado de Contaminantes en Diferentes Combustibles.

Ante los problemas globales de la calidad del aire, el gas representa una de las alternativas más atractivas desde la perspectiva económica y ecológica para sustituir a los combustibles convencionales y reducir en el corto plazo las emisiones contaminantes de vehículos en circulación. Países como Holanda, España, Inglaterra, Nueva Zelanda, Rusia, Argentina y los Estados Unidos de América, han venido usando gas licuado del petróleo y gas natural comprimido tanto en el transporte de carga como en el de pasaje, con resultados muy alentadores.

Frente a los motores de gasolina y diesel convencionales, el uso del gas permite la eliminación total de las evaporaciones de hidrocarburos (HC), la reducción de más del 50% de la emisión de hidrocarburos reactivos en el escape, y la disminución de un 85% de las emisiones de monóxido de carbono (CO).

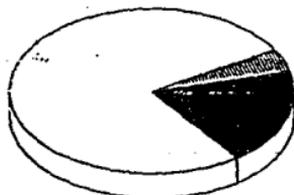
Agregando el uso obligatorio de convertidores catalíticos de tres vías, se controla también la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx), lo cual evita la formación de ozono (O₃) en la atmósfera. El gas licuado del petróleo y el gas natural tiene un quemado más limpio, por lo que no producen humos o partículas (PM). Al tener un mínimo contenido de azufre, reduciendo además la emisión de dióxido de azufre (SOx).

Sin embargo, la contaminación del valle de México es un problema sumamente complejo, ante el cual no existe una solución única. Por el contrario, se requiere de la aplicación de un conjunto de medidas sociales, económicas, políticas y técnicamente viables. En este contexto, la conversión a gas del transporte público y concesionado es una fuente trascendente en el saneamiento del aire.

El transporte de personas y mercancías emite el 77% del total de las emisiones generadas en el Valle de México. De éstas, un poco menos de la mitad provienen de los taxis, combis, minibuses, autobuses y camiones de carga. Estos vehículos se encuentran por lo general en condiciones obsoletas y constituyen el sector del transporte que consume una mayor cantidad de combustible y en consecuencia, genera una mayor contaminación; de esta manera, se presenta el siguiente cuadro gráfico, el cual ilustra la emisión de contaminantes del transporte en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

CONTRIBUCION DEL TRANSPORTE A LA EMISION TOTAL

TRANSPORTE
76.7%



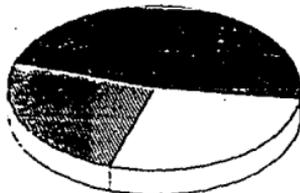
INDUSTRIA Y
SERVICIOS
4.4%
4% ENERGIA
FUENTES
NATURALES
15%

EMISION TOTAL EN LA ZMCM
4'356,000 TON/AÑO

EMISIONES POR SECTOR DE TRANSPORTE

AUTOS PARTICULARES
45%

TRANSPORTE
DE PASAJEROS
25%



OTROS 2%

TRANSPORTE
DE CARGA
28%

EMISION DEL TRANSPORTE
3'342,174 TON/AÑO

EMISION DE CONTAMINANTES DEL TRANSPORTE EN LA ZONA
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

En la ZMCM existen alrededor de 458 mil unidades para el transporte de pasajeros y de carga, de las cuales el 62% corresponden a los vehículos registrados en el Distrito Federal y el 38% restante a los de los municipios conurbados del Estado de México.

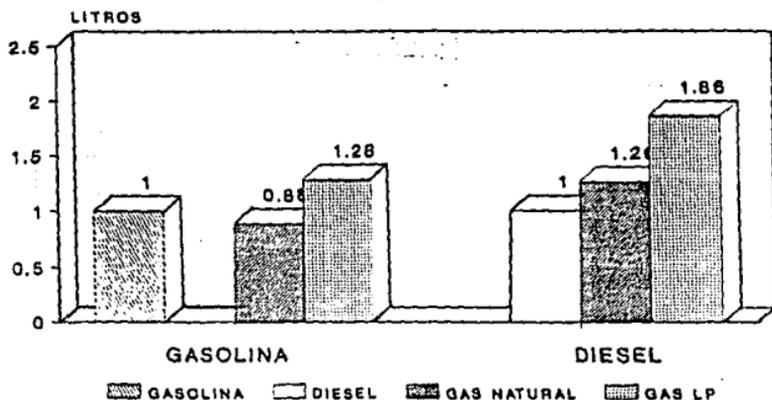
De acuerdo con las políticas actuales de sustitución de la flota vehicular, 147,084 unidades deberán ser remplazadas obligatoriamente por modelos nuevos o más recientes a 1984 ó 1986 según se trate de transporte de carga o mercantil, colectivos y taxis, respectivamente. El resto son 299,191 vehículos que pueden incluirse en el programa de conversión a gas o renovación del tren motriz. De estos vehículos, 273,243 son a gasolina, cerca de 20 mil a diesel y 6,120 a gas LP. Estos últimos deberán adecuar sus conversiones para cumplir con la normas ecológicas y de seguridad correspondientes.

Se estima que las conversiones a gas del transporte público y concesionado generon para fines de 1992 una demanda adicional de gas licuado del petróleo de aproximadamente 1 mil barriles diarios, equivalente al consumo de 7,800 vehículos. Este volumen se incrementa progresivamente cada año hasta llegar a más de 22 mil 500 barriles por día en 1995.

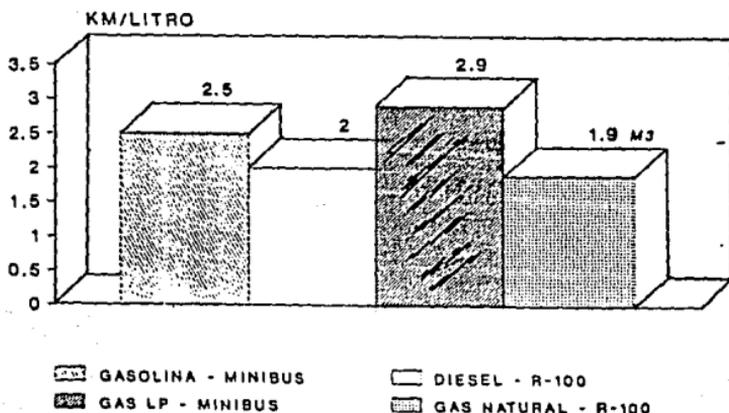
Con respecto al gas natural, la demanda media para 1992 se cálculo de 2.3 millones de pies cúbicos por día, para satisfacer las necesidades de 2000 vehículos. Este volumen se incrementará de manera gradual hasta llegar en 1995 a más de 87 millones 500 mil pies cúbicos por día, lo cual representa el consumo de más de 44,000 vehículos de gas natural comprimido.

Para ejemplificar las equivalencias volumétricas de la gasolina y el diesel con respecto al gas, se plantea en forma gráfica el siguiente cuadro comparativo; ilustrando al mismo tiempo los rendimientos de cada combustible y el grado de contaminantes respectivamente.

EQUIVALENCIAS VOLUMETRICAS DE LA GASOLINA Y DIESEL CON RESPECTO AL GAS

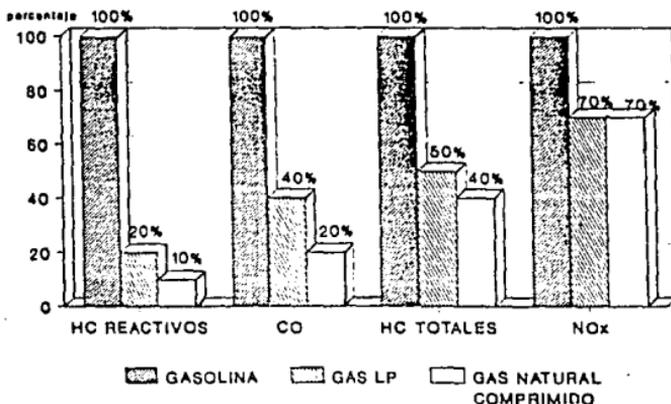


RENDIMIENTOS COMPARADOS POR TIPO DE COMBUSTIBLE

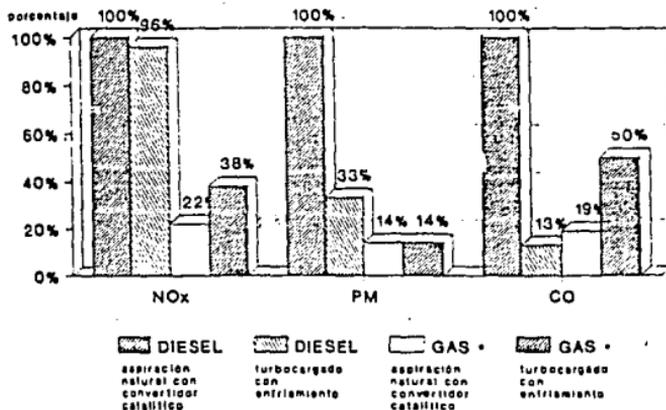


fuentes: IMP/DDF

COMPARACION DE EMISIONES DE VEHICULOS A GASOLINA CON LOS CONVERTIDOS A GAS

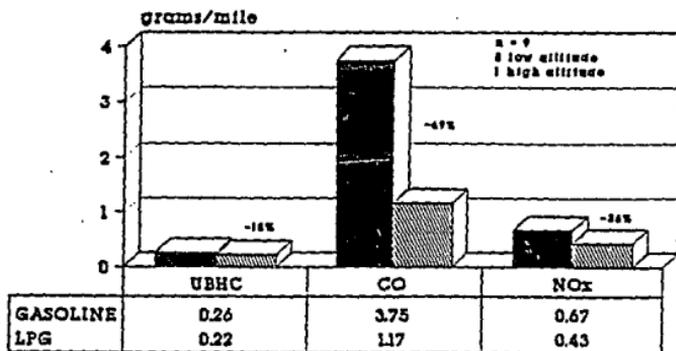


COMPARACION DE EMISIONES DE VEHICULOS A DIESEL CON LOS CONVERTIDOS A GAS



Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo (Enero 1992)
Mercedes Benz México (Enero 1992)

REDUCCIÓN DE EMISIONES DEBIDO AL USO DE GAS LP SOBRE
VEHICULOS A GASOLINA

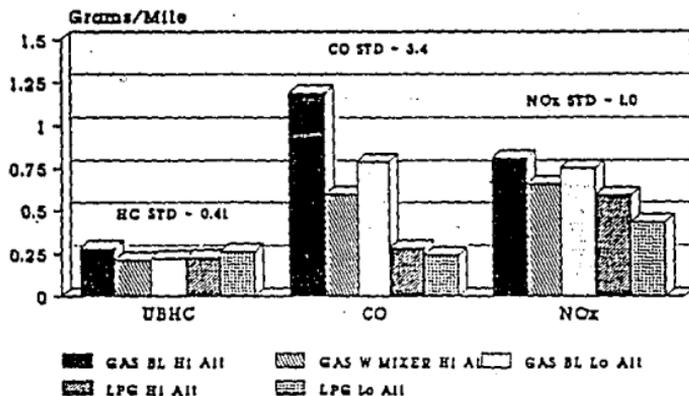


GASOLINA

GAS LP

Fuente: Environment Protection Agency (EPA)

REDUCCION DE EMISIONES DEBIDO AL USO DE GAS LP EN MOTORES
FORD 1988, MEDIDO A DIFERENTES ALTITUDES
CON RESPECTO AL NIVEL DEL MAR



Fuente: Ford Motor Company (1988)/ EPA

CAPITULO VI

ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES

CAPITULO VI

ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCION DE EMISIONES

VI.1 Métodos Para Mejorar la Combustión

Debido a que el problema de la contaminación atmosférica por fuentes móviles lo tienen las grandes ciudades del mundo, se han propuesto algunas alternativas para la reducción de emisiones contaminantes, las cuales pueden clasificarse en las siguientes formas :

- 1) Variar la relación aire-combustible, así como variar el sistema de encendido con un adelanto o retraso en la chispa de la bujía.

El efecto que se tiene al variar la relación aire-combustible sobre las emisiones, es que con las mezclas pobres de combustible, se tiene un decremento en las emisiones de CO y HC'S, así como un incremento en los NOx; en las mezclas ricas sucede lo contrario, hay un decremento de emisiones de NOx y un aumento en CO y HC'S. Algunos automóviles tienen el sistema de inyección electrónica de combustible por computadora FUEL INYECCION, pero aunque este sistema proporciona mayor potencia y solo se inyecta la cantidad de gasolina requerida reduciendo las emisiones de CO y HC'S no se asegura una combustión completa.

- 2) La afinación de los automóviles por lo menos dos veces al año mejora la combustión, pero aún así no se logra reducir las emisiones completamente, por lo que esta alternativa por sí sola no resuelve el problema, ya que existen en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México alrededor de 448 mil unidades para el transporte de pasajeros y de carga y de acuerdo con las políticas actuales de sustitución de la flota vehicular, 127.084 unidades deberán ser remplazadas obligatoriamente por modelos nuevos o más recientes a 1977, 1984 ó 1986 según se trate del tipo de transporte.

Sin embargo, debido a la pérdida del poder adquisitivo que ha tenido el país, en algunos sectores de la población no será posible la adquisición de una unidad nueva inmediatamente o a un corto plazo, a pesar de las facilidades que existen por parte de la Banca Nacional en la expedición de créditos.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- 3) En la actualidad en algunos países se han estudiado o utilizado mezclas de gasolinas con gas natural, gas L.P., hidrocarburos gaseoso de alto peso molecular y mezclas de combustibles líquidos o gaseoso. Se han usado principalmente, alcohol metílico, alcohol etílico y metil terbutil-eter, mejorando con ello el octanaje de las gasolinas y disminuyendo los contaminantes gaseoso. Las desventajas principales consisten en que hay un menor rendimiento en los motores debido a un menor poder calorífico; y en el caso de utilizar gas, es necesario realizar algunas adaptaciones al automóvil lo cual resulta costoso, aunque comparando el precio de la gasolina y el precio del gas; en un corto plazo se recupera la inversión, no obstante pueden existir problemas en la distribución y abastecimiento del gas.

PEMEX ha asegurado la disponibilidad inmediata de 15 mil barriles diarios de gas licuado del petróleo para uso vehicular en el Valle de México, suficiente para el abastecimiento de alrededor de 45 mil vehículos. Para fines de 1992, la disponibilidad se incremento a 45 mil barriles diarios, lo que permitio satisfacer la demanda de un total de 135 mil vehículos.

Por otra parte, se asegura también la disponibilidad de 90 millones de pies cúbicos por día de gas natural, los cuales son suficientes para cubrir las expectativas del programa para los proximos cuatro años, satisfaciendo así el consumo energético de alrededor de 45.000 vehículos.

- 4) Elaboración de gasolina de calidad ecológica internacional: producción y distribución de gasolina sin plomo Magna Sin, para todos los automotores modelo 1988 en adelante y el uso obligatorio del convertidor catalítico. Así también la ejecución de proyectos que integran esta medida como son:

-Modificación a un proceso de regeneración continua del proceso semi-regenerativo de las plantas reformadoras de naftas de las refineries de Tula, Cadereyta, Salamanca y Minatitlán.

-Ampliación de la planta reformadora de naftas de la refinería de Ciudad Madero y su conversión a regeneración continua.

-Isomerización de pentanos y heptanos, mediante la instalación de tres plantas en Cangrejera, Minatitlan y Cadereyta.

Dicha reconversión facilitará disponer de una gasolina adecuada para ser utilizada en vehículos con convertidores catalíticos de tres vías y, adicionalmente, cumplir con los requerimientos de motores de combustión interna de una forma más eficiente.

- 5) Por medio de los acuerdos realizados en 1986 por parte de las autoridades y la industria automotriz, el uso de convertidores catalíticos a partir de 1991. México se ha colocado a la vanguardia de los países en vías de desarrollo en el control de contaminación vehicular. Mientras que en los Estados Unidos de América, se empezaron a instalar en 1976 y en Europa solo a partir de 1987. Los convertidores catalíticos son capaces de reducir hasta en un 90% las emisiones contaminantes de los vehículos, por lo que constituyen una solución técnica más avanzada para el control de emisiones provenientes de los autos a gasolina o gas L.P. como combustible.

VI.2 Sistemas de Control en las Emisiones

Estos sistemas pueden clasificarse en dos categorías: modificaciones en el motor y el de inyección de aire.

En el primer sistema, el motor se rediseña en diversos aspectos para que quemen en forma más completa la gasolina, entre los cambios propuestos se tienen:

- Carburador calibrado para dar mezclas pobres de combustibles
- Cambios en el múltiple de admisión para permitir el movimiento más suave en la carga de combustible y mejorar su distribución.

En el sistema de inyección de aire, se emplea una bomba giratoria de baja presión que bombea continuamente aire limpio a través de mangueras, múltiples y un tubo de inyección. El aire inyectado aumenta la combustión y enciende la porción caliente de gases sin quemar produciendo una combustión más completa. La desventaja de este tipo de sistema es el aumento de las emisiones de NOx.

Los dos tipos de sistemas mencionados, no pueden tampoco abatir los niveles de contaminación de manera que se cumpla la norma, pero es importante que sean instalados sobre todo los relativo al carter y al tanque de gasolina ya que en dichos casos no hay otro tipo de control.

VI.3 Caracterización de los Diferentes Combustibles.

Un motor de combustión puede funcionar con el combustible en cualquiera de los tres estados de agregación: gaseoso, líquido o sólido. La selección se hace teniendo en cuenta:

- i La Complejidad del equipo necesario para almacenar, suministrar y quemar combustible en el motor primario.
- ii El valor del calor de la combustión por unidad de volumen de combustible.
- iii La disponibilidad y costo del combustible en el sitio donde se encuentra el motor primario.

Los combustibles gaseosos presentan la mínima dificultad desde el punto de vista del mezclado con aire y distribución homogénea a los diversos cilindros de un motor de varios pistones, a los quemadores de una turbina de gas, o a los motorreactores. En buenas condiciones, la combustión deja relativamente pocos depósitos, comparados con los otros combustibles.

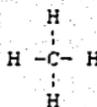
Los combustibles gaseosos para equipos automotores necesitan el empleo de grandes recipientes para presiones de gas bajas y depósitos para las presiones de gas intermedias o elevadas, lo que restringe su campo de aplicación. Aun así, en las zonas próximas a las fuentes de producción, se utiliza mucho el gas licuado del petróleo (GPL) en camiones, tractores, autobuses y motores, en las obras de irrigación y sondeos. El GPL se obtiene en las plantas de gasolina naturales de los campos petrolíferos y también de los gases de refinería.

El petróleo es una mezcla de carbono e hidrógeno, con algo de azufre y otras impurezas. Estos hidrocarburos se clasifican en cuatro grupos generales:

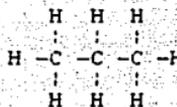
- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1. Parafinas (C_nH_{2n+2}) | 3. Naftenos (C_nH_{2n}) |
| 2. Olefinas (C_nH_{2n}) | 4. Aromáticos (C_nH_{2n-6}) |

La serie de hidrocarburos parafínicos comienza con el CH_4 , teniendo el siguiente de la serie un átomo más de C con dos átomos más de H unidos a él etc. Los hidrocarburos parafínicos normales tienen estructura de cadena abierta con un enlace entre cada átomo. Así tres de las series normales, como son el metano, propano, y pentano, tienen las moléculas a base de carbonos conectados uno a otro mediante una

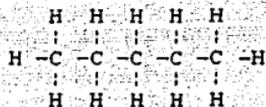
estructura en forma de cadena, donde las valencias de cada eslabon están saturadas con átomos de H. Frecuentemente se omiten los átomos de H al indicar la estructura molecular.



Metano CH_4

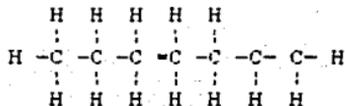


Propano C_3H_8

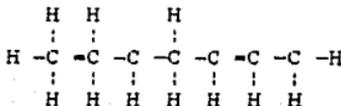


Pentano C_5H_{12}

Las olefinas tienen la estructura de cadena abierta de las parafinas, pero hay algún enlace doble entre dos átomos de carbono. De ello resulta una molécula sin saturar que tiene menos hidrogenos que la molécula de la parafina homóloga con el mismo número de átomos de carbono. El doble enlace de las olefinas puede estar entre dos átomos de carbono cualesquiera, posición que se designa por el menor número de átomos de carbono a un lado del doble enlace.



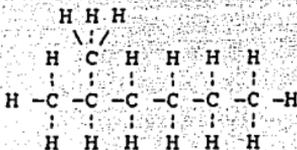
3 Heptano (C_7H_{14})



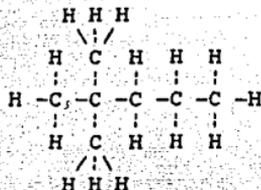
1.5 Heptadieno (C_7H_{12})

Las diolefinas ($\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$) tienen una estructura analoga a la de las olefinas, pero tienen dos dobles enlaces. En consecuencia, estas moléculas están menos saturadas que las olefinas. Los números que proceden al nombre de la molécula indican la localización de los dos enlaces dobles: Cualquiera de los hidrocarburos parafínicos más complicados pueden tener cierto número de isómeros, que tienen el mismo número de átomos de C e H, pero que tienen una estructura ramificada. Así, tres de los isómeros del heptano (C_7H_{16})

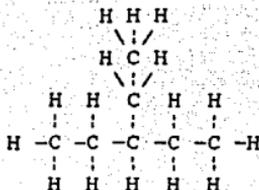
tienen las siguientes estructuras, llamándose los grupos de CH_3 y C_2H_5 metilo y etilo respectivamente y refiriéndose al pentano y al hexano el número de átomos de carbono que están en la parte de la cadena lineal de la estructura.



2 Metilhexano



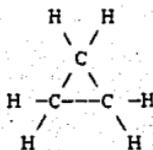
2,2 Dimetilpentano



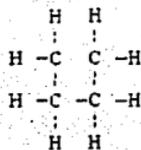
3 Etilpentano

Los números indican las posiciones de los átomos de carbono en que se sitúan los grupos metilo y etilo. La diferencia de estructura de las moléculas trae consigo diferentes propiedades físicas y características de reacción aunque el peso molecular y la relación de H/C sea la misma.

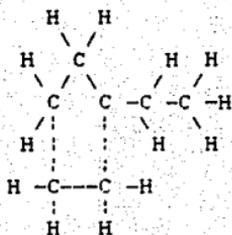
La serie nafténica de los hidrocarburos, tales como el ciclopropano y el ciclobutano, tienen sus átomos de carbono unidos por enlaces simples, cada uno de ellos unido a los dos adyacentes, formando así una estructura de anillo. Cada uno de estos átomos de carbono tiene también unidos al mismo dos átomos que pueden ser H o C o ambos.



Ciclopropano

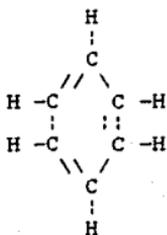


Ciclobutano

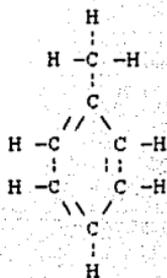


Etilciclopentano

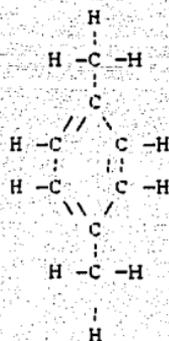
La serie aromática de los hidrocarburos lleva un anillo bencénico al que van unidos H o radicales formados por C e H.



Benceno



Tolueno
(Metilbenceno)



p-Xileno (para)
(1,4 Dimetilbenceno)

La gasolina es principalmente una mezcla de hidrocarburos líquidos que contienen 4 ó 10 átomos de carbono, así como cantidades de hidrocarburos ligeros y pesados y cantidades muy pequeñas (normalmente de 0.25 %) de impurezas del petróleo crudo tales como azufre y nitrógeno, más un porcentaje muy bajo de aditivos empleados para conseguir buenas características.

La mayoría de las compañías petroleras elaboran cuatro tipos de gasolina, regular, premiun, super-premiun, y subregular. Muchos aspectos pueden distinguir la calidad relativa de las mezclas de gasolina. Los importantes son:

- i) El poder antidetonante
- ii) La volatilidad equilibrada

El poder antidetonante se refiere a la capacidad de la mezcla combustible-aire para propagar una llama suavemente a través de la cámara de combustión, siguiendo al encendido de la bujía sin autoencendido del gas final. El número de octano es la unidad generalmente aceptada como una medida de la resistencia del combustible a la combustión con picado; puesto que el poder antidetonante ha sido muy utilizado para clasificar la gasolina del motor como Premiun o Regular (Magna sin o Nova), un alto número de octano, es un sinónimo de excelencia.

La volatilidad equilibrada es el término empleado para indicar la proporción conveniente de los hidrocarburos de diversos puntos de ebullición para asegurar un fácil arranque y un rápido alcance de la temperatura de funcionamiento; la volatilidad de una gasolina se determina por la presión de Vapor Reid (PVR) y los datos de destilación ASTM. La presión de vapor Reid es la presión de vapor de la gasolina a 100 qF (37.8 qC) determinada bajo ciertas condiciones específicas; las características físico-químicas de las gasolinas producidas en los Estados Unidos de América son:

COMBUSTIBLES AMERICANOS (U.S.A)

GASOLINA

COMPOSICION	NORMA	CON PLOMO (Leaded)	SIN PLOMO (Unleaded)
RON	D2699	97.0	95.0
Susceptibilidad	-----	7.5	7.5
Plomo (g/Galón)	-----	1.4	0.005
Rangos de Destilación			
10 pct. QF	D8600	120-135	120-135
50 pct. QF	D8600	200-230	200-230
90 pct. QF	D8600	300-325	300-325
Destilación Max.	D8600	415	415
Azufre (% Peso Max.)	D1266	0.10	0.10
Fosforo (g./Galon)	-----	0.01	0.005
PVR (Lb/In ²)	D3230	8.7-9.2	8.7-9.2
Composición			
Olefinas (% Max.)	D1319	10.0	10.0
Aromáticos (% MAX.)	D1319	35.0	35.0
Saturados	D1319	*	*

* Residual.

DIESEL

COMPOSICION	NORMA	ESPECIFICACIONES
RON	D613, D86	42-50
Rangos de Destilación		
10 pct. QF	-----	400-460
50 pct. QF	-----	470-540
90 pct. QF	-----	550-610
EP. QF	-----	580-660
Gravedad QAPI	D287	33-37
Total de Azufre %	D129, D2622	0.2-0.5
Punto Flash QF	D93	130
Viscosidad (centistoke)	D445	2.0-3.2
Composición	D1319	
Aromáticos (%)	-----	27
Parafínicos	-----	No Determinado

Fuente: 40 Code of Federal Regulation (EPA). 1991

CARACTERISTICAS DE GASOLINAS MEXICANAS

		Magna Sin	Nova
PVR	(Lb/In ³)	7.0 - 9.5	7.0 - 9.5
Metil-Ter-Butil-Eter	(Wt.%)	2.0	0.0
Tetra-Etilo de Plomo	(ml/gal)*	0.01	0.5
Densidad	(gr/cm ₃)	0.73 - 0.74	0.72 - 0.73
Azufre	(Wt %)	0.1	0.15
Benceno	(ml/gal)	4.2	-----
Octano		92	81

* Fórmula Pb (C₂H₅)₄
 Densidad 1.65 gr/cm₃ @ (20°C)
 Uso Aditivo antidetonante en gasolinas

CARACTERISTICAS DE COMBUSTIBLES DIESEL FRANCES

Tipo de Diesel	A	B	C	D
Densidad (20°C) (g/ml)	0.833	0.860	0.834	0.856
Viscosidad (20°C) (mm ² /s)	4.95	5.37	3.96	5.02
Cont. Azufre (wt %)	0.088	0.15	0.26	0.19
Número de Cetano	53.0	46.00	49.00	43.00
Estabilidad de Oxidacion (mg/100ml)	0.94	1.0	1.0	1.0
Rango de Ebullición	223/360	230/360	190/367	200/380
Analisis de C	85.45	86.30	86.25	86.45
Elementos (wt %) : H	13.40	12.80	13.55	13.05
Analisis Espectrometrico				
Parafinas	43.97	31.71	35.03	27.47
Nafta	38.79	31.69	39.59	35.27
Aromaticos	17.23	36.60	25.38	37.27

Fuente: Institut Francais Du Petrole
Industrial Division.

CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES DEL GAS LP

	Metano	Etano	Propano	Eutano	n-Butano
Fórmula	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀
Tensión de Vapor @ 10°C	370	32	6.2	1.7	1.5
Punto de Ebullición @ 760 mm Hg °C	-161.5	-88.5	-42.2	-6.2	-0.5
Peso Especifico del líquido Kg/l	0.3	0.3	0.51	0.60	0.58
Litros de gas por litros de líquido	443	294.3	272.7	252.9	237.8
Peso Especifico del gas @ 15°C 760 mm Hg, Kg/m ³	0.677	1.2	1.86	2.37	2.45
Kg de aire comburente por Kg de gas	17.4	16.2	15.8	15.0	15.6
Número de Octano (motor Method)	120	99.0	96.0	84.0	89.0

CARACTERISTICAS DE LOS GLP COMERCIALES

Mezclas más usadas		Tipo A	Tipo B	Tipo C
Composición (%)	Etano	4.33	1.66	0.15
	Propano	91.71	39.26	19.38
	Propileno	----	1.03	13.51
	n-Butano	0.15	20.97	37.46
	Isobutano	3.81	36.51	13.42
	Buteno 1 + Isobuteno	----	0.48	8.92
	Buteno 2 cis	----	----	2.79
Buteno 2 trans	----	----	3.87	
Potencia Calorífica Superior	Kcal/Kg	11.98	11.88	11.80
	Kcal/Lt	6.03	6.42	6.54
Número de Octano (Motor Method)		96	95.1	88

VI.4 Uso y composicion de Aditivos

Son productos que previenen la acumulacion de depósitos en los cilindros, tubería y válvulas, también pueden reducir o remover depósitos formados por el uso de gasolina sin aditivos. Los depósitos son gomas que resultan del producto final de reacciones de oxidación y polimeración que envuelven principalmente constituyentes olefinicos. Al eliminar los depósitos formados en el carburador y en los inyectores, se incrementan los periodos de correcta relación aire-combustible suministrada a la cámara de combustión con la consecuente disminución de emisiones vehiculares.

La desventaja de estos aditivos es que a veces están formados de aminas, amidas o compuestos orgánicos nitrogenados que incrementan finalmente las emisiones de NOx.

El Instituto Frances del Petroleo y la compañía francesa petrolera ELF, desarrollaron un aditivo para gasolinas el cual es llamado P903, contando con las características de:

- Remover los depósitos de las gasolinas formados en el carburador.
- Prevenir los depósitos formados en el carburador

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS ADITIVOS

		P903-0	P903-3
Material Activo	(Kg/m ³)	125	45
Gravedad Especifica	(15°C)	0.870	0.765
Punto Flash	(°C)	>0	>0
Viscosidad Cinemática 0°C	(mm ² /S)	35-45	1
Viscosidad Cinemática 37.8°C	(mm ² /S)	9-11	1
Cont. de Nitrógeno	(Wt.%)	1.0	0.35
Velocidad de combinacion en las gasolinas			
*ppm por volumen		1000	1000
*ppm por peso		1160	1000

Fuente: Instituto Frances del Petroleo

VI.5 Dispositivos Posteriores a la Combustión

Existen principalmente, la instalación de reactores ya sea termicos o cataliticos.

El reactor termico se considera una segunda cámara de combustión que se coloca en el múltiple de escape con una inyección de aire. Con este dispositivo disminuyen las emisiones de CO y HC, pero se incrementan los NOx. La durabilidad de estos sistemas se ve muy afectada por la corrosión que ocasionan los gases de escape.

Los convertidores cataliticos consisten de estructuras generalmente cilindricas colocadas después del múltiple de escape, los cuales contienen principalmente metales de transición o metales nobles. En otros países ha habido un gran desarrollo en las tecnologías de estos convertidores, lograndose reducir las emisiones hasta de un 70% y alcanzando los valores requeridos por las normas Americanas, Europeas y Japonesas. En todos los casos los mejores resultados se han obtenido con el uso de metales nobles como catalizadores. En nuestro país es difícil utilizarlos con éxito sin tomar algunas previsiones, ya que los metales nobles son deteriorados con la presencia de plomo de nuestras gasolinas.

A pasar de lo anterior, el reactor o convertidor catalitico parece ser la mejor opción ya que con la optimización de la tecnología y el mejoramiento en la actividad del catalizador pueden llevar a una disminución muy considerable de todas las emisiones, a diferencia de los demás métodos que solamente eliminan solo un contaminante, más no los tres principales contaminantes del escape del motor como son: HC, CO y NOx.

La recomendación al uso de convertidores cataliticos debe verse como una de las mejores medidas de control y así intentarse todos los cambios, adaptaciones, mejoras y controles de las otras fuentes de emisión contaminante.

Los convertidores cataliticos se orientan inicialmente al control de emisiones de HC y CO, pero muy poco a controlar las emisiones de NOx en los escapes de los automoviles; pero actualmente se conoce la importancia de los NOx en la formación de niebla fotoquímica, muchos investigadores se han avocado a tratar de eliminar las emisiones de estos contaminantes, y en algunos casos se ha llegado a tener éxito.

CAPITULO VII

SISTEMAS DE PURIFICACION DE EMISIONES

CAPITULO VII

SISTEMAS DE PURIFICACION DE EMISIONES

VII.1 Tipos de Convertidores

A raíz del surgimiento de los programas de control de contaminación en las grandes urbes de otros países, se han desarrollado y probado más de 600 catalizadores utilizando combinaciones de 36 metales individualmente en aproximadamente 20 tipos de soportes.

Los catalizadores utilizados para el control de emisiones vehiculares puede clasificarse en dos tipos: Los que utilizan metales de transición o nobles (Pt.Pd.Rh.Ir) y aquellos realizados por metales de transición (Co.Cu.Cr.Fe.Mn.Ni.V).

CONVERTIDORES CON METALES DE TRANSICION (Pt. Pd. Rt. Ir)

Este tipo de convertidores han sido de mayor éxito en el mundo, ya que se han logrado obtener conversiones de más del 90% para el HC y CO, los metales con mayor actividad catalítica son el platino (Pt), el paladio (Pd), el rodio (Rh), el rutenio (Ru) y el iridio (Ir) (EPA, 1979). Para su preparación se han utilizado soluciones acuosas de las siguientes sales:

H_2PtCl_6	Hexacloruro de dihidroplatino IV
$PdCl_2$	Dicloruro de platino II
$RhCl_3 \cdot 3H_2O$	Tricloruro de rodio III trihidratado
$IrCl_3$	Tricloruro de iridio III

Con estas soluciones acuosas se impregnan los soportes de tipo cerámico, se secan y se calcinan a 500 °C durante cuatro horas aproximadamente para obtener áreas superficiales cubiertas con PtO_2 , Rh_2O_3 , $PtCl_4$, etc., teniendo al finalizar la calcinación de un porcentaje en peso de 0.01 al 3% de metal noble. También se han probado con éxito sistemas combinados como Pd/Pt, Pd/Rt, Pt/Ru, Pd/Pt/Rh, etc.

Los convertidores a base de metales nobles tienen una alta estabilidad térmica y no se sintetizan, pudiendo alcanzar conversiones mayores al 80% en un rango relativamente corto a

bajas temperaturas (300-400 °C) y la variación de gasto no parece influir en los porcentajes de conversión. Su actividad es menor para la oxidación de hidrocarburos que para la de CO, por ello en su diseño se debe considerar primero la remoción de HC ya que la remoción de CO solamente requerirá una fracción del catalizador total. Cuando el catalizador se envenena, es generalmente la actividad de HC la que se afecta, por otra parte, no todos los hidrocarburos son oxidados de conversión siempre decrete en el siguiente orden:

Acetilenos. Aromáticos. Olefinas y Parafinas. El metano es el hidrocarburo más difícil de oxidar y la actividad oxidativa para parafinas se incrementa con el peso molecular y la ramificación.

En cuanto a la reducción de NOx, el Pd y el Pt no son tan efectivos ya que se forma el NH₃ que pudiera volver a oxidarse a NO. Se ha sugerido que la reacción de reducción es la siguiente:



El Pd y el Pt son buenos catalizadores para la primera reacción, pero no catalizan la descomposición del NH₃ en forma efectiva. Para lograr la reducción completa de los NOx se adiciona níquel o cobre al catalizador de metales nobles ya que dichos metales sí catalizan la segunda reacción, aunque deben aclararse que los resultados no son del todo satisfactorios. El uso de iridio en lugar de Pd o Pt da mayores porcentajes de conversión de NOx, pero a costa de la disminución en las conversiones de oxidación.

El catalizador más efectivo para la reducción de NOx es el rutenio (Ru) que es sumamente activo, no forma cantidades significativas de NH₃ aun en condiciones extremas y se requieren cantidades muy pequeñas (10% adicional al catalizador de platino y paladio). Desafortunadamente este metal a temperaturas mayores de 450 °C no presenta buena actividad reductora ya que forma los óxidos volátiles de RuO₃ y RuO₄ en condiciones oxidantes, con ello se va perdiendo masa del catalizador además de que los vapores pueden ser tóxicos. Para estabilizar el rutenio se agregan algunos metales básicos que forman rutenatos estables tales como el LaRuO₃, BaRuO₃ o MgRuO₃, para ello, el soporte se impregna primero con soluciones de Ca, Ba o La y después se calcina para formar óxidos y posteriormente se exponen a una solución de RuCl₃ y se reducen en una atmósfera de N₂ a 450°C. Con ello hay mayor estabilidad térmica pero a temperaturas mayores de 650°C vuelve a presentarse el problema de volatilización.

CONVERTIDORES CON METALES DE TRANSICION
(Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, V)

El alto costo y la difícil adquisición de los metales nobles, ha sido un gran estímulo para la realización de esfuerzos considerables para el desarrollo de catalizadores con metales no nobles más accesibles a otros países.

Estos catalizadores pueden dividirse en dos categorías:

-Aquellos en los que la estructura metálica en sí, ya sea en forma de malla o de virutas metálicas, son el material catalítico.

-Aquellos en que el catalizador está soportado sobre un material cerámico

Entre los primeros, se tienen algunas aleaciones de hierro o acero que son oxidantes y tienen buena actividad para la oxidación de HC'S y CO, pero no catalizan la reducción de NOx. Para la reducción de estos últimos se han utilizado aleaciones de Cu y Ni como el monel (Cu/Ni = 30/70), el Inconel y el GEM68 (Ni, Cu, Cr y Co) y materiales similares. Estos convertidores trabajan con conversiones mayores al 80% cuando se alcanzan temperaturas de 700°C, por ello también se les conoce como catalizadores de alta temperatura. Al aumentar la temperatura su actividad catalítica se incrementa, el problema se deriva porque dichas condiciones no siempre son alcanzadas durante el manejo. Por otra parte estos catalizadores son costosos y sufren un deterioro continuo por el ciclo de atmósferas oxidantes y reductora con lo cual van perdiendo actividad en forma continua; por ello, aunque en algunos países son utilizados, es más común el soportar los metales en estructuras cerámicas.

En el caso de metales de transición que van soportados sobre materiales cerámicos, se han utilizado para oxidación principalmente el Cu, Cr, Mn, V, Fe, Co, Mo y Ni entre otros; y para reducción de NOx los más usados son Cu, Ni y V. Estos metales son soportados sobre materiales cerámicos utilizando soluciones acuosas de dichos elementos seguidos por una calcinación similar a la mencionada en el caso de los metales nobles, solamente que al finalizar el proceso el porcentaje en peso del metal soportado se encuentra entre un 2 - 10%, teniendo entre las sales más utilizadas como son:

Sales Utilizadas en la Preparación de Catalizadores

Para la Oxidación

Para la Reducción

CO	HC	NOx	SOx
CuO	Cu/Al ₂ (O ₃)	Cu/Al ₂ O ₃	Cu-V ₂ O ₅
CuCr ₂ O ₄	CuCr ₂ (O ₄)	Ni/Al ₂ O ₃	W-TiO ₂
Cu-Cr ₂ O ₃	CuFe ₂ O ₄	V ₂ O ₅	Cu/Al ₂ O ₃
Cr ₂ O ₃	FeCr ₂ O ₄	Sn-V ₂ O ₅ /SiO ₂	
Fe ₂ O ₃	FeAl ₂ O ₄	Fe(1-x)Mx-ySi(1-y)	
MnO ₂	CoFe ₂ O ₄	M: V, Mn, Cr, Mo	
V ₂ O ₅	CoCr ₂ O ₄	W, Co, Ni, Cy	
Co ₃ O ₄	Ni(NO ₃) ₂	(0.01 x 0.7)	

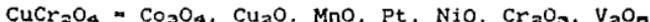
Los soportes ácidos como las zeolitas, los silica-aluminatos y soportes con metales alcalinos reducen la actividad catalítica del sistema Cu-Cr.

Para acentuar las propiedades catalíticas de los metales de transición, se han hecho mezclas de manera que se obtengan simultáneamente actividades oxidantes y reductoras formando sistemas con dos o tres metales como:

Cu/Ni, Cr/Cu, Cu/Cr/Ni, Mo/Co/Ni, Mo/Cu/Ni, V/Cr/Cu, etc.

No es fácil producir soluciones estables ya que muchas veces flocculan en forma de geles o producen catalizadores que al calcinarse se sintetizan; por lo que pese a la gran cantidad de combinaciones posibles, pocas soluciones son viables de producir un buen catalizador.

Para el caso de la oxidación del CO se ha encontrado que la variación de actividad para distintos sistemas catalíticos es en orden decreciente:



En el caso de la reducción de NOx la combinación de metales resulta efectiva, por ejemplo el óxido de cobre solo tiene una leve actividad para la reducción del NO mientras que si se combina con óxido de cromo se incrementa la actividad a temperaturas entre 300°C y 450°C sin perder actividad en la oxidación de hidrocarburos y monóxido de carbono; y la adición de óxido de cobalto incrementa aún más la actividad.

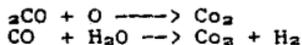
en este tipo de catalizadores se ha demostrado que para tener conversiones de al menos 80% para NOx, se requiere composiciones en la mezcla de gases con relaciones de Co/O₂ entre 1.5 y 5 (A/F = 14.65 a 13.5) a temperaturas desde los 400°C hasta los 600°C, logrando una mayor selectividad para la obtención de N₂ en lugar de NH₃ entre mayor es la temperatura.

Por otra parte, se han preparado catalizadores de metales de transición para formar estructuras de tipo "Perovskita" en las que en una misma estructura se tienen iones en diferentes estados de oxidación y presencia de oxígeno en la red cristalina, las estructuras son más estables, entre ellas se tiene: LaMnO₃, LaSnO(3.15), La(0.8)K(0.2)Mn(0.9)Rh(0.1), La(0.6)Sr(0.4)MnO₃.

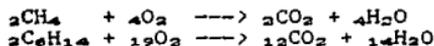
VII.2 Oxidación y Reducción Catalítica de los Contaminantes Vehiculares.

En el sistema que se tiene en los gases de escape de un automóvil, las siguientes reacciones son termodinámicas favorables:

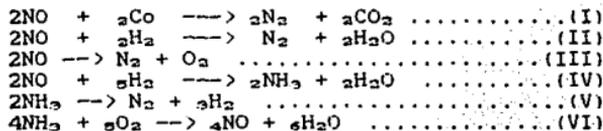
Oxidación de Monóxido de Carbono



Oxidación de Hidrocarburos



Reducción de NOx



Es importante considerar la selectividad en la reducción deseada; Por ejemplo, un convertidor puede oxidar CO a una temperatura tan baja como los 200°C, pero será ineficiente para la oxidación de hidrocarburos que requieren mayores temperaturas.

La temperatura es un factor importante en el proceso catalítico por lo que es necesario tomar en cuenta el hecho de que las reacciones de oxidación mencionadas son exotérmicas. Por ejemplo, la temperatura para oxidar al CO a 500°C es igual a -68.3 Kcal/mol, por lo que al oxidarse cada mol de este compuesto, la temperatura se incrementará un cierto número de grados.

Por otra parte un convertidor puede ser eficaz para la oxidación de hidrocarburos, pero la velocidad de oxidación de dichos compuestos es diferente en cada caso: el metano generalmente tiene una velocidad de oxidación 5 ó 6 veces más lenta que la de otros hidrocarburos.

En el caso de la reducción de NOx el problema de selectividad es aun más complejo ya que puede llevarse a cabo la reacción (IV) en donde el NH₃ se forma, de manera que las condiciones de trabajo y el convertidor deben seleccionarse de manera que las reacciones (IV) y (V) sean favorecidas.

La formulación de los convertidores no es simple sobre todo por la necesidad de tener condiciones oxidantes (mezclas pobres en combustible) para la combustión de HC y CO la cual es contradictoria con las condiciones reductoras (mezclas ricas en combustible) para la eliminación del NO. Por otra parte en la mezcla gaseosa se encuentra presente el oxígeno y los agentes reductores lo atacan en forma preferencial al NO ya que la reacción con este último es más lenta.

Así, el diseño del convertidor puede hacerse de tal manera que se tengan tanto la atmósfera oxidante como la reductora, en cámaras diferentes en un mismo convertidor, aunque es posible efectuar la oxidación y la reducción en forma simultánea si la relación aire/combustible en peso es la estequiométrica (A/F = 14.7) en la figura (7.1) puede observarse que es posible obtener una eficiencia del 80% de conversión de los tres contaminantes cuando se tiene la relación A/F mencionada. Dicha relación puede ser afectada dependiendo del tipo de combustible, cambios en la humedad atmosférica y en la altitud con respecto al nivel del mar, además durante el manejo la composición de los gases cambia por lo tanto, para que la mezcla sea en promedio estequiométrica se ha propuesto que, en adición al convertidor se instale un sistema de alimentación equipado con un sensor de oxígeno, esto será en beneficio de la economía de combustible y la maniobrabilidad.

Ventana de Conversión
Máxima de Relación
Estequiométrica.

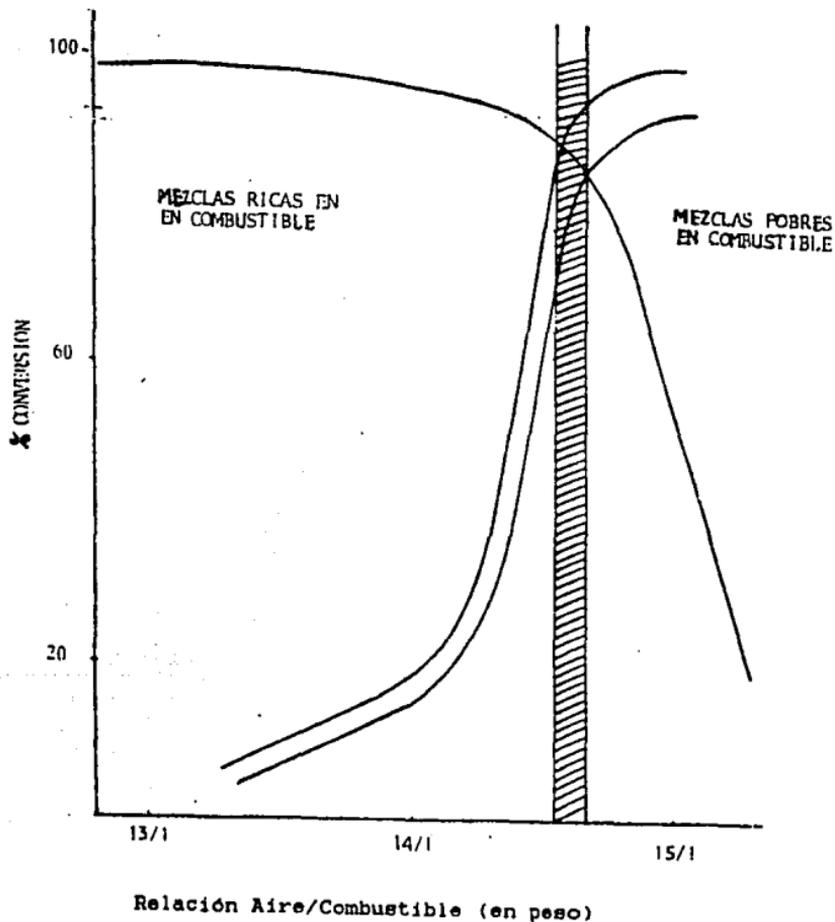


Fig. 7.1 Actividad de los Catalizadores en Función de la Relación Aire/Combustible

Resumiendo: para que un catalizador funciona adecuadamente, hay cuatro parámetros importantes que deben ser considerados:

- Temperatura
- Composición de los Gases (Combustible)
- Flujo
- Venenos

Estos parámetros deben ser mantenidos en ciertos rangos que desafortunadamente no son muy amplios. El sistema catalítico puede tolerar desviaciones de dichos rangos, pero si éstas son frecuentes y prolongadas, se tendrá un envenenamiento crónico y fallas en el convertidor.

La figura (7.2) puede observarse en forma generalizada los rangos de operación para un sistema catalítico que reduzca las emisiones vehiculares.

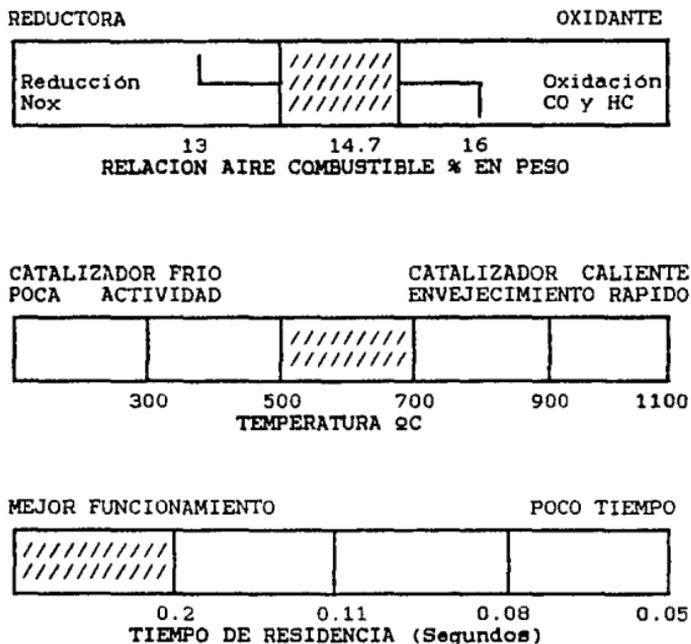


Fig. 7.2 Parámetros de Operación de los Convertidores Catalíticos

VII.3 Cinética y Mecanismos de Reacción

Oxidación del CO

Como una primera aproximación, la cinética de oxidación del CO sobre metales para la reducción de emisiones en los gases de escape, puede representarse por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{d(\text{CO})}{dt} = -K_1 \frac{\text{O}_2}{\text{CO}} \quad \text{Sobre el Platino y Paladio}$$

$$\frac{d(\text{CO})}{dt} = -K_2 \frac{(\text{CO})^{0.7}}{1} \quad \text{Sobre metales de transición}$$

En ambos casos, las constantes de velocidad de K_1 y K_2 son sensibles a los niveles de HC y H₂O en la mezcla de reacción ya que hay una competencia entre estas especies por la superficie del catalizador. En forma más general para ambos casos se han encontrado correlaciones de la forma:

$$\frac{d(\text{CO})}{dt} = -K(\text{CO})^x * (\text{O}_2)^y \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

El estudio de algunos metales ha proporcionado los siguientes valores para los parámetros x,y:

CATALIZADOR	X	Y	T ₉₀
CuCr ₂ O ₄ Sobre alúmina	1	0.2	400
Cr ₂ O ₃ Sobre alúmina	1	0.0	300
CuO, NiO Sobre alúmina	1	0.0	170
Pt Sobre alúmina	-1	1.0	300
Hojas de paladio	-1	1.0	300
Alambre de paladio	-2	1.0	100

Aun no se ha encontrado un modelo que permita representar la competencia en la adsorción de CO, H₂O y O₂ pero se ha propuesto la correlación de Langmuir-Henselwood:

$$r_{\text{CO}} = -k \frac{K(\text{CO}) * K(\text{O}_2) * (\text{CO})(\text{O}_2)}{1 + K(\text{O}_2)(\text{O}_2) + K(\text{CO})(\text{CO}) + K_w(\text{H}_2\text{O}) + K(\text{HC})(\text{HC})}$$

K: Son las constantes de equilibrio de adsorción para cada especie

Como sucede en la mayoría de los catalizadores de metales de transición en que hay una fuerte quimiadsorción de CO, la ecuación anterior es compatible con la ecuación (7.1). Eischens propuso que el paso limitante de la reacción es la absorción de las moléculas de O₂ sobre la superficie del catalizador. La diferencia en las cinéticas en el caso de los metales nobles y de transición, puede explicarse por el hecho de que después de la salida de la molécula de CO₂ la re-oxidación de los metales nobles es muy lenta en comparación con la re-oxidación de los metales de transición.

OXIDACION DE HC

La oxidación de hidrocarburos tales como compuestos olefínicos, aromáticos, aldehídos y cetonas son fácilmente convertidos a CO₂ y H₂O sobre la mayoría de los convertidores. Sin embargo en el caso de las parafinas, la facilidad de oxidación decrece a medida que disminuye el tamaño de la cadena.

No hay mucha información acerca de los mecanismos de estas reacciones extremadamente complejas. Por el orden de facilidad con que son oxidadas, se piensa que el paso limitante es la absorción disociativa donde se encuentran involucradas especies parcialmente oxidadas, las cuales no se encuentran presentes en los vapores después de la catálisis; lo que indica que, una vez formadas, deben ser completamente oxidadas en forma muy rápida.

REDUCCION DEL NOx

La descomposición del NO es una reacción muy lenta, 2 ó 3 veces más que la reacción de oxidación del metano. Algunos autores encontraron como una primera aproximación que la cinética de reducción sobre platino y óxidos metálicos entre los 400 y 900°C es de primer orden respecto al NO y CO en concentraciones de 1.5% al 15%, y que el oxígeno es un fuerte inhibidor.

La cinética de reducción del NO por CO e hidrógeno ha sido estudiada, encontrándose que los productos formados incluyen N₂, N₂O y amoníaco. La cinética de formación del amoníaco tiene la forma $(H_2/NO)^{0.2}$ y la cinética de formación del nitrógeno tiene la forma $(H_2)^{0.5}$, $(NO)^{0.5}$. Una aproximación más compleja de la cinética de descomposición del NO está dada por la expresión:

$$d_{(NO)} = \frac{-K \text{ Kno Pno Kco Pco}}{dt (1 + \text{Kno Pno Kco Pco})^2}$$

K: Constante de equilibrio de adsorción

P: Presión y está dada en atmósferas

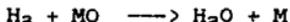
Se ha supuesto que el mecanismo es una combinación de adsorción del NO y CO sobre la superficie del catalizador en sitios adyacentes.

El problema de la formación del amoniaco y la inhibición por oxígeno sigue siendo tema de muchos investigadores. Algunos autores han demostrado que en presencia de una razonable cantidad de agua, el hidrógeno formado es un agente reductor más poderoso que el CO como se observa en la ecuación (IV); Por ello la formación de amoniaco es un problema serio entre los 300 y 600°C. Las reacciones (IV) y (V) son catalizadas por CU, Cr, Pt, Pd y Ru. El rutenio es el más selectivo en la formación de nitrógeno pero pierde actividad arriba de los 400°C. La inhibición de la reducción de NO por oxígeno puede operar por la gran afinidad del hidrógeno y el CO. Algunos investigadores han encontrado que cuando la relación molar (O₂/CO) está entre 0.5 y 0.7 la reducción de NO es puede ser cero, con lo que se concluye que para que proceda la reducción del NO debe haber exceso de CO y H₂. El mecanismo propuesto sobre la superficie catalítica es el siguiente:



M (Forma Reducida)

MO (Forma Oxidada)



CAPITULO VIII

DISEÑO DE CONVERTIDORES CATALITICOS

CAPITULO VIII

DISEÑO DE CONVERTIDORES CATALITICOS

Los propósitos principales en el diseño de un convertidor catalítico son, el utilizar de la mejor manera posible el potencial del catalizador, el convertir completamente a los materiales de la combustión incompleta hasta sus estados de mayor oxidación, y además, el de proteger dicho catalizador de las condiciones a las que se ve expuesto la operación normal de un vehículo.

Hay ciertos requisitos que deben de cumplir el catalizador y el soporte, que son la parte medular del convertidor; pero también son importantes los requisitos que deben de cumplir las estructuras metálicas dentro de las cuales se encuentra la fase activa y que son los siguientes:

- La estructura debe asegurar en flujo uniforme de los gases a través del catalizador.
- Debe estar colocado en un lugar donde la temperatura de los gases a la entrada del convertidor asegure que se alcance la energía de activación de las reacciones químicas que se llevarán a cabo en el interior del convertidor catalítico.
- Debe ser aislante para que el catalizador se mantenga en los intervalos óptimos de temperatura.
- La estructura debe tener una forma y tamaño adecuado para que el tiempo de residencia de los gases sea suficientemente para lograr una máxima conversión.
- Debe ser lo más ligero posible y resistir a la corrosión; asimismo, debe proteger al catalizador en condiciones drásticas de manejo.

VIII.1 Convertidores de Doble y Triple Cámara

Convertidores de Doble Cámara

Son convertidores que constan de dos reactores o cámaras catalíticas en serie. En la primera se efectúa la reducción de los NOx a nitrógeno (N₂) y en la segunda la oxidación de HC y CO a agua (H₂O) y bióxido de carbono (CO₂). En estos sistemas, el motor debe operarse en mezclas ricas de combustible para producir una atmósfera reductora en los gases de escape que entrarán en la primera cámara catalítica.

Posteriormente se adiciona aire secundario que penetra en la segunda cámara y provee la atmósfera oxidante necesaria para la conversión de HC y CO; en este tipo de convertidores es posible tener ambas cámaras catalíticas en un sólo reactor, figura (8.1) u optarse por tener dos reactores separador.

En los sistemas de doble cámara se tiene el inconveniente de que la temperatura de los gases de escape que llegan a la cámara de oxidación ha descendido, por lo que además del dispositivo para la adición de aire, es necesario otro aditamento que mantenga la cámara catalítica de oxidación a una temperatura adecuada. Este dispositivo puede encontrarse en la cámara catalítica ó cerca de la entrada de aire a una temperatura determinada. Un problema adicional es que deben ser colocadas válvulas para evitar problemas de sobrecalentamiento.

Un inconveniente de este tipo de convertidores es que, en el momento de la reducción de NOx hay producción de amoníaco (NH_3); el cual, al penetrar en la cámara de oxidación puede volver a convertirse en NO.

Para evitar este problema, es indispensable el uso de catalizadores selectivos para la producción de nitrógeno como es el caso del rutenio con las siguientes desventajas mencionadas en el capítulo anterior por la formación de compuestos volátiles de dicho metal.

Convertidores de Triple Cámara

En este tipo de reactores se tienen tres cámaras catalíticas en serie. Una para la reducción del NOx, otra para la oxidación de NH_3 y la última para la oxidación de HC y CO. El sistema contempla la oxidación controlada al dosificar la entrada de aire en la sección de NH_3 antes de entrar en contacto con el catalizador para el HC y CO. Con lo anterior se evita la oxidación del NH_3 hasta NO y con ello es posible utilizar una gama más amplia de catalizadores para la reducción de NOx sin que importe mucho el factor de selectividad.

Con este tipo de convertidores se ha logrado satisfacer la norma americana de 0.25 g/km para la emisión de NOx.

El inconveniente de esta clase de convertidor es que añade complejidad al diseño de los convertidores de doble cámara, requiriéndose una mayor cantidad de catalizador, además que el problema del enfriamiento de las dos últimas cámaras debe ser cuidadosamente controlado.

También para el caso de convertidores con soportes metálicos se han considerado lechos catalíticos de tres cámaras cuyas partes consisten en: Cámara para la remoción de oxígeno para evitar la corrosión a la que se encuentran expuestos estos tipos de convertidores produciendo una atmósfera reductora; la segunda cámara es el lugar en donde se lleva a cabo la reducción de NOx y en la tercera cámara se efectúa la oxidación del HC y CO.

VIII.2 Comparación Entre los Diferentes Tipos de Convertidores. Ventajas y Desventajas

El uso de los convertidores de doble y triple cámara tienen la ventaja si se cuentan con los dispositivos de inyección de aire y control de temperatura, pueden asegurar prácticamente gaseosas vehiculares. Las desventajas principales son el aumento en el costo por los dispositivos adicionales, el uso de mayor cantidad de catalizadores, la complejidad del diseño de las cámaras y el gasto más alto de combustible ya que se requiere que el motor trabaje con mezclas ricas para proporcionar una atmósfera reductora en la primera cámara catalítica, por otra parte al trabajar con mezclas ricas hay una mayor demanda en la actividad del catalizador de oxidación lo cual puede ocasionar un deterioro prematuro. Lo anterior puede agudizarse si hay desactivación del catalizador de oxidación y no es advertido a tiempo, ya que los contaminantes emitidos de HC y CO serían aun mayores que sin el convertidor.

El sistema de triple efecto es el que ofrece las mejores posibilidades ya que tiene la ventaja de involucrar solamente una cámara catalítica y requiere la operación del motor en un punto en que ni el funcionamiento del motor ni la economía del combustible se ven afectados. El estudio intenso que se efectúa en la preparación de nuevos catalizadores en los que logre ampliarse el rango de trabajo de la relación aire combustible, evitará el inconveniente del uso del sensor de oxígeno con lo cual se tendrán convertidores más sencillos y económicos.

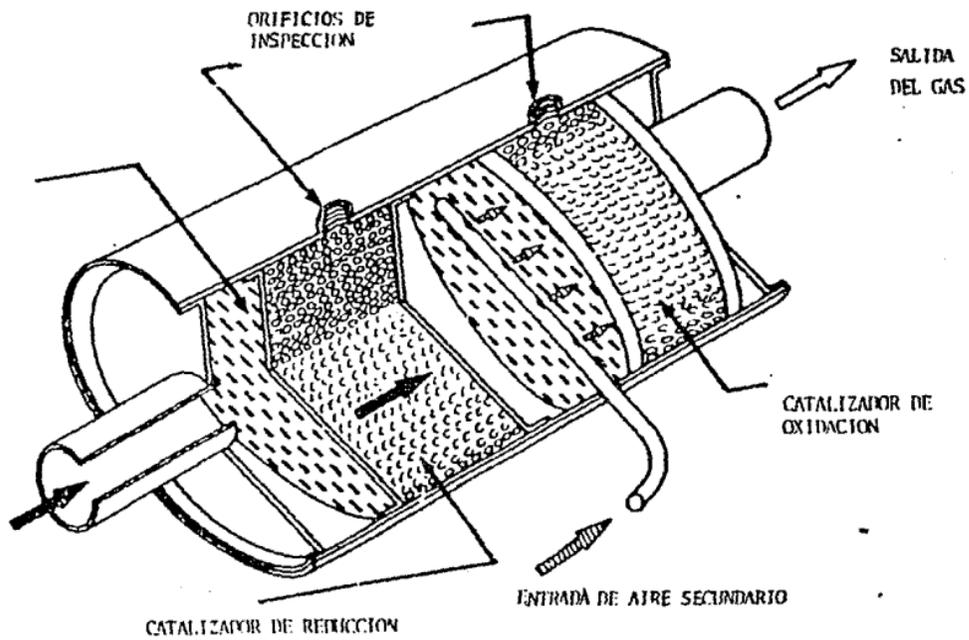
CONVERTIDORES MONOLITICOS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Más resistente a la vibración	No es reparable o regenerable
Pequeño, y por lo tanto muy térmico	Más caro para su fabricación
Menos tubo de escape a presiones bajas	Requiere de mayor cantidad de Platino, Paladio.

CONVERTIDORES DE PELLETS (MUNICIONES)	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menos caro para la fabricación	Calentamiento menor debido a una mayor longitud
Se requiere menos platino y paladio para su fabricación	Necesita una alta presión en la parte trancera de los gases del escape
Este convertidor puede ser reparado (los pellets son reemplazables)	No es muy durable

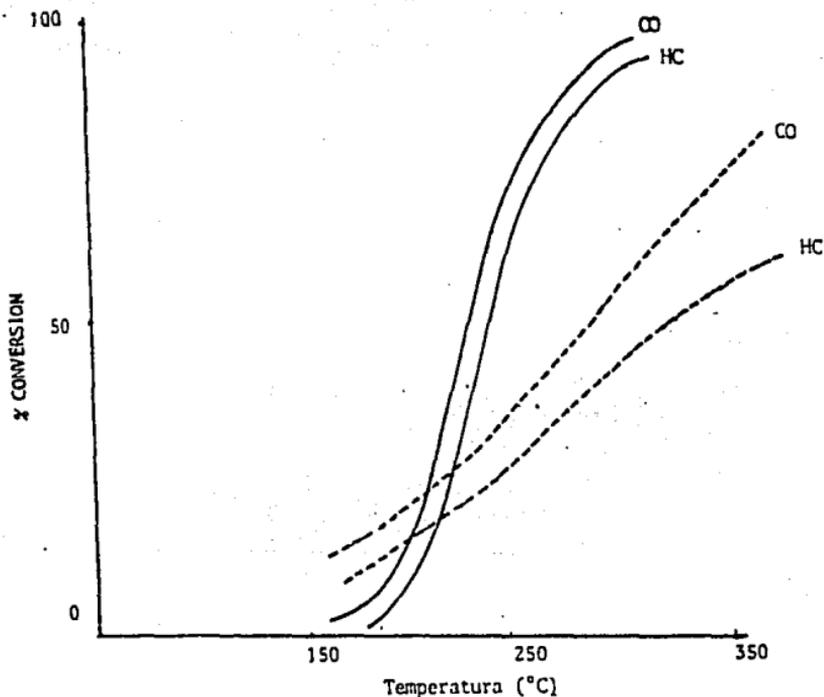
Comparación de los Sistemas Catalíticos Sobre Metales Nobles y Metales de Transición

1. Los catalizadores de metales nobles tienen una curva característica en la que la conversión de HC y CO se incrementa rápidamente en un intervalo pequeño de temperaturas, mientras que los metales de transición requieren de un intervalo más amplio de temperaturas. Grafica 8.2.
2. La conversión sobre metales de transición es una función del tiempo de residencia mientras que la conversión sobre metales nobles es relativamente insensible a los cambios en el gasto de gases alimentados.
3. Los catalizadores de metales no nobles tienen tendencia a reaccionar químicamente con el soporte y formar espinelas inactivas; aunque esto último puede minimizarse utilizando combinaciones de metales.
4. Los catalizadores de metales de transición son al menos un factor de 100 a 1000 veces menos activos por unidad de peso que los catalizadores de metales nobles, por lo que se requiere una cantidad mucho mayor para un adecuado funcionamiento.
5. Los catalizadores de metales no nobles tienen una mayor tolerancia al envenenamiento con plomo, debido quizá a las altas cantidades de ingrediente activo de los primeros (2-10% en peso, en comparación de 0.01-0.3% en peso para los metales nobles).
6. Los catalizadores de metales nobles no se envenenan con el azufre del combustible, mientras que los catalizadores de los metales de transición pueden formar sulfuros que ocasionan la desactivación de los catalizadores cuando se alcanza la temperatura de descomposición de dichos sulfatos (700°C).
7. Los metales no nobles siguen esencialmente una cinética de primer orden para la oxidación del CO, mientras que sobre platino, el orden es casi inverso al primer orden en concentración de CO. Ello significa que cuando la presión parcial de CO disminuye, la velocidad de oxidación se incrementa, lo que hace que el catalizador de platino sea muy activo en la remoción de cantidades pequeñas de CO.

Fig. 8.1 Convertidor Catalitico de Doble Camara
Jenkins, J (1985)



8. Finalmente, todos los metales nobles (Pt, Pd, Rh, Ru e Ir) deben ser importados de Sudáfrica. Estados Unidos de Norteamérica y posiblemente de Rusia; su uso duplicaría los requerimientos para dichos metales en el país y aunque se pudieran surtir demandas, el precio se incrementaría y afectaría además, el costo en otros usos industriales. En el caso de los metales de transición, el costo es muchísimo más barato y no hay mucho problema para su adquisición (EPA 1975).



Metales de Transición - - - - -

Metales Nobles _____

Grafica 8.2 Comparación de los Rangos de Temperaturas Requeridas para la Conversión de Contaminantes de Metales Nobles y Metales de Transición

VIII.3 Parámetros Importantes en la Operación de un Convertidor Catalítico

El flujo de gases dentro del tubo de escape, es producto de:

El volumen de desplazamiento del motor, las revoluciones por minuto y la eficiencia volumétrica. El grado de la mezcla de los gases de escape y el aire. La distribución de los gases a través de la cama catalítica. La caída de presión y la transferencia de calor y masa del gas a la superficie sólida los cuales dependen del número de Reynolds.

$$Nre = \frac{v * d * \tau}{\mu}$$

τ : Densidad del gas

d : Diámetro del canal, pellet o alambre.

v : Velocidad superficial del gas

μ : Viscosidad del gas

En un tubo de 7mm de diámetro el número de Reynolds varía de 3000-100000, lo cual produce un flujo turbulento.

En un convertidor con soporte monolítico cerámico o metálico puede existir un flujo laminar, pero la transición a régimen turbulento en una cámara de pellets toma lugar a $Nre = 40$. El uso de monolíticos tiene una menor caída de presión y el gas no cambia de dirección ni se mezcla con el gas de otros canales. En cámaras de pellets el gas cambia constantemente de dirección y se mezcla continuamente aunque al mismo tiempo provoca una mayor caída de presión.

Es importante que los gases fluyan uniformemente por la cámara catalítica. La formación de canales es indeseable ya que los gases pueden fluir a través de ellos muy rápidamente y no tener una conversión adecuada. Para evitar la formación de canales debe tenerse mucho cuidado en el empaque para impedir que queden espacios vacíos.

Otro factor importante es el lugar de colocación del convertidor, por ejemplo, se ha encontrado que al cambiar el reactor de la salida del múltiple de escape hasta una posición debajo del compartimiento de pasajeros la emisión de CO se incrementa en un 15% y la temperatura en el lecho catalítico desciende un 25%, por ello, debe asegurarse que la posición del convertidor permita que se alcancen las temperaturas necesarias para el inicio de las reacciones químicas.

El funcionamiento del convertidor también depende mucho de las condiciones de manejo. Durante el calentamiento la masa total de emisiones de CO depende fuertemente de la temperatura de entrada de los gases al convertidor tanto como el gasto. Cuando el vehículo está detenido con el motor encendido; la zona de reacción dentro del convertidor está confiada en una banda del 10% de la longitud total de la cámara y la conversión de CO es alta. A medida que la velocidad de flujo de los gases, se incrementa la zona de relación se mueve hacia la parte posterior.

El problema de envenenamiento y el daño por desgaste térmico tiende a ocurrir principalmente a la entrada del reactor y en la parte superficial del catalizador que son las regiones que primero alcanzan las temperaturas altas en el calentamiento inicial, por lo que al desactivarse el catalizador, la conversión disminuye mucho en los primeros minutos después de encender el motor. Una circulación periódica de los pellets es recomendable ya que dará una deesactivación más uniforme lo cual no es posible hacer en el caso de los monolíticos.

Otro parámetro importante es la longitud de la cámara, ya que después de una longitud crítica, el porcentaje de conversión no se incrementa por lo que es importante determinar dicha longitud para disminuir el costo tanto de material como por la cantidad de catalizador (Platino, Paladio y Rodio).

Debido a que las prueba de evaluación del comportamiento de los catalizadores y convertidores son muy caras y llevan una gran cantidad de tiempo debido al gran número de parámetros que puedan ser modificados, se han comenzado a desarrollar una gran cantidad de modelos matemáticos para la simulación del comportamiento de los convertidores catalíticos.

Se han propuesto una serie de ecuaciones complejas para determinar los efectos de difusión en el catalizador así como la transferencia de calor y masa tanto de pellets como en monolíticos de manera que matemáticamente pueda simularse la conversión de emisiones variando la geometría, forma y tamaño del reactor, temperatura de entrada de los gases, concentración de venenos, gasto, ciclos de manejo, relación aire-combustible, tipo de vehículo, capacidad de carga del vehículo, tipo de combustible, etc.

CAPITULO IX

EVALUACION DE CAMPO

CAPITULO IX

EVALUACION DE CAMPO

IX.1 Evaluación en Las Formulaciones a Nivel Laboratorio

Una vez preparados los sistemas catalíticos, se procede a la evaluación de su actividad o funcionamiento. Para ello se utiliza un pequeño tren catalítico para simular las condiciones de conversión de los gases de escape en los catalizadores preparados.

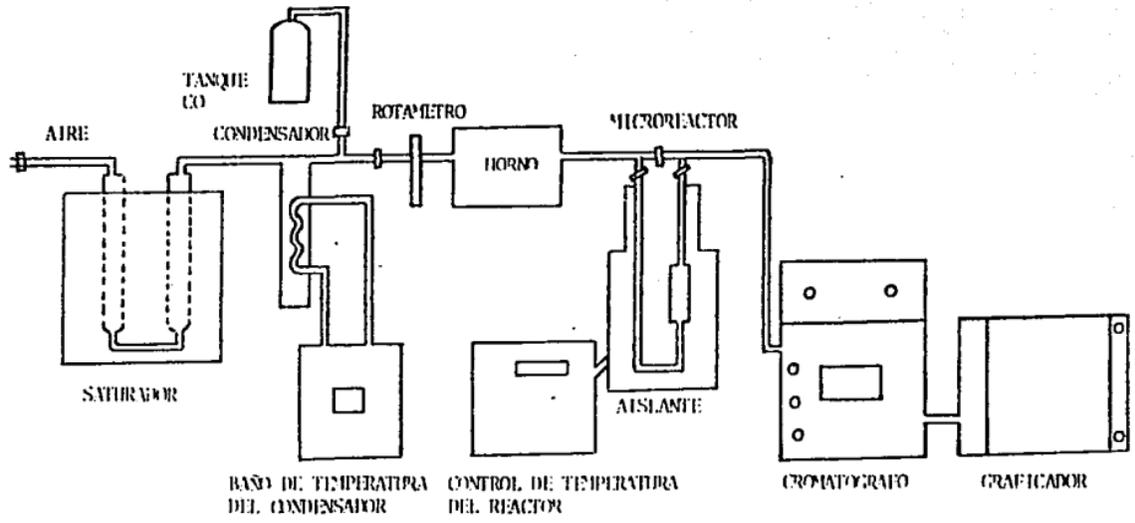
La simulación de los gases de escape ha sido evaluada por Otto y Dalla (1978) utilizando un microreactor con análisis continuo de gases. Este sistema de evaluación ofrece una mayor reproducibilidad y control de condiciones en las pruebas de banco.

Las partes principales del sistema de microreactor son:

- Saturador y condensador para la obtención de hidrocarburos y vapor de agua.
- Baño para control de temperatura del saturador y condensador a 25 °C.
- Tanque de monóxido de carbono (CO) y línea de aire.
- Burbujómetro para medir el gasto.
- Horno de precalentamiento de gases: y control de temperatura para el horno.
- Red con microreactor de vidrio cubierto con metal aislante.
- Calentador y controlador de temperatura para el reactor.
- Cromatógrafo para el análisis de gases de combustión.
- Graficador.

La figura (9.1) se muestra el diagrama de ensamble y sus distintos componentes.

Fig. 9.1 Diagrama del Tren Catalítico para la Evaluación a Nivel Laboratorio IMP (1989)



Para efectuar la evaluación se coloca un gramo de catalizador triturado en el pequeño reactor tubular, el reactor es calentado eléctricamente y los gases que penetran en el lecho catalítico han sido calentados en el horno.

La temperatura se detecta por medio de termopares. El tiempo de residencia puede variar por medio del gasto, sin embargo está limitada su variación por el tamaño del reactor y por el grado de canalización.

Se alimentó una mezcla de gases de:

Monóxido de carbono.
Aire.
Hexano.

El análisis de gases se efectuó en un cromatógrafo (Gow-Mac 500) con detector de conductividad térmica utilizando una columna de cuatro metros con cubierta. El gas de arrastre utilizado fue helio. Al inicio se inyecta cantidades conocidas de hexano puro y monóxido de carbono puro para determinar los tiempos de retención obteniéndose los siguientes resultados en el graficador.

COMPUESTO	TIEMPO DE RESIDENCIA
Oxígeno	1.60 mim
Nitrógeno	1.72 mim
Hexano	7.5 mim
Monóxido de Carbono	1.52 mim

La operación se realizó varias veces anotando el área de los picos graficadores que posteriormente sirvieron para calcular los factores de peso.

Una vez conocidos los tiempos de retención, se prosiguió a efectuar el análisis de la composición de la mezcla alimentada. Para ello se utiliza un Bay-Pass en la instalación para desviar la mezcla al cromatógrafo sin pasar por el reactor; posteriormente se realizaron las pruebas variando la temperatura entre 300 - 550°C y se evaluó la conversión. Cabe señalar que es posible aumentar la temperatura de reacción, sin embargo el material del microreactor es de vidrio y podía sufrir daños, por lo que no se efectuaron pruebas a temperaturas más altas.

En la tabla 9.1 se muestran los resultados de la evaluación de los sistemas catalíticos.

TABLA 9.1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE MICRORREACTOR

SISTEMA/TEMPERATURA(°C)	% CONVERSION DE HC						
	250	300	350	400	450	500	550
IMI (Cr-Cu-Ni)	0	8	18	30	48	64	76
IMII (V-Cu-Ni)	0	6	25	36	58	70	78
IMIII (Mo-Cu-Ni)	0	7	21	31	46	64	72
IMIV (Cr-Fe-Ni)	0	4	12	20	28	34	40
IMV (Cr-Cu-Ni)	0	7	15	27	31	37	46

TABLA 9.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE MICROPLANTA

SISTEMA/TEMPERATURA(°C)	% CONVERSION CO						
	250	300	350	400	450	500	550
IMI (Cr-Cu-Ni)	0	5	14	29	41	54	68
MII (V-Cu-Ni)	0	7	21	36	50	68	82
MIII (Mo-Cu-Ni)	0	3	18	30	48	56	69
MIV (Cr-Fe-Ni)	0	4	17	27	34	42	51
MV (Cr-Cu-Fe)	0	6	18	30	35	47	56

De los resultados obtenidos puede decirse que al incrementarse la temperatura de los gases se incrementa la conversión, y efectuando una extrapolación de los resultados, puede suponerse que a temperaturas entre los 650 y 700°C se tenga una mayor conversión, al menos en los tres primeros sistemas.

Por lo que al observar los valores obtenidos se concluye que los dos últimos sistemas dan poca conversión a las temperaturas evaluadas por lo que fueron suprimidos para la siguiente etapa. El catalizador que mejor conversión tuvo para los hidrocarburos fue el IMII, así como para la conversión del CO.

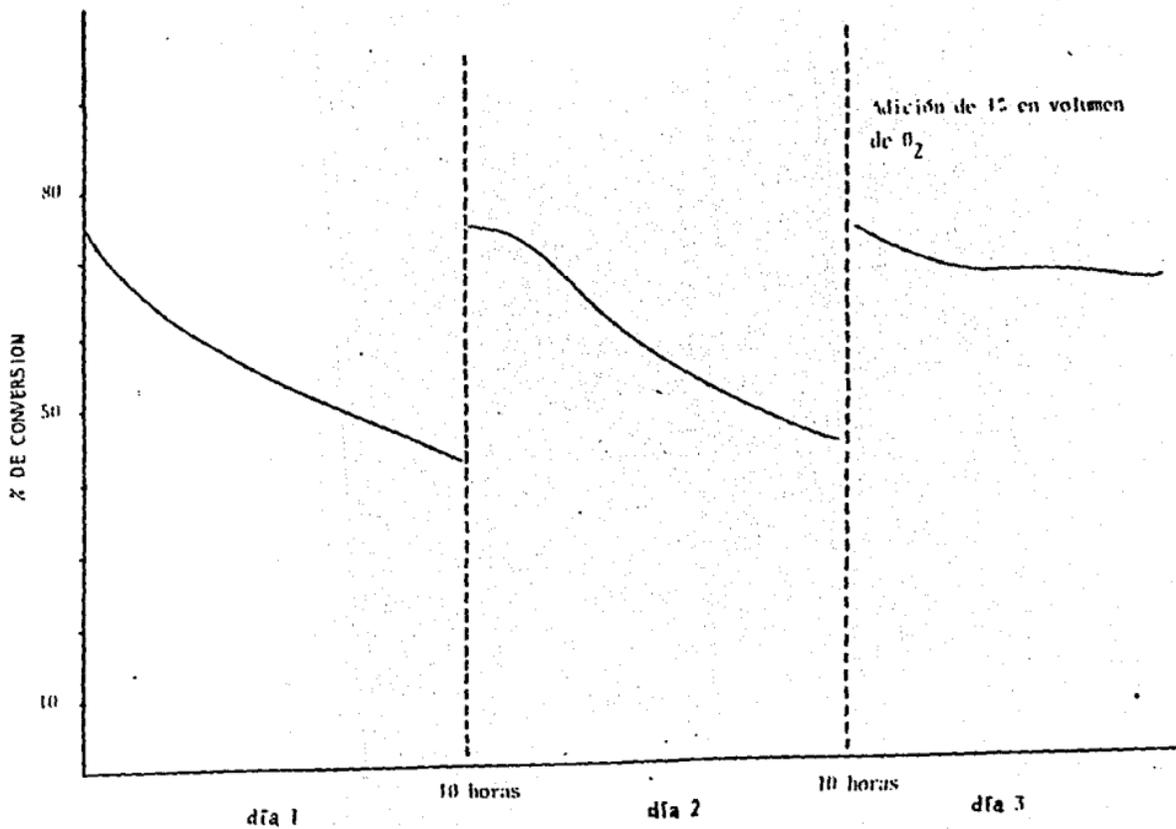
Los sistemas IMI y IMIII dan resultados muy similares, observándose que tienen un poco mayor la actividad en la conversión de HC. Por último, se realizó una prueba con el sistema IMII para observar la desactivación del catalizador al funcionar en condiciones prolongadas de trabajo.

En la figura (9.2) se muestra como el catalizador se desactiva al primer día después de 10 horas de trabajo. Durante la noche con la influencia del aire que se difunde por el catalizador se reactiva a un primer nivel; el segundo día se tiene el mismo resultado. Al adicional 1% en volumen de oxígeno a la mezcla de gases se observa que no hay desactivación.

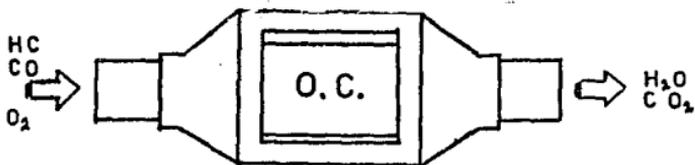
Lo anterior parece corresponder con el mecanismo cinético de observación adyacente del oxígeno y monóxido de carbono para la conversión, ya que cuando el catalizador se satura de CO, no permite la absorción de O_2 sobre la superficie del catalizador para que se lleva a cabo la reacción, por ello al agregar un poco de oxígeno el equilibrio en la mezcla vuelve a darse sobre la superficie del catalizador.

Por lo tanto, se pretende que todas las variantes posibles de catalizadores con sus respectivos sistemas posibles de combinación, dan como resultado una alta eficiencia y con ello la eliminación de gases tóxicos por lo menos en un 80%, todo dependerá del tipo de combustible a usar y de las condiciones mecánicas del motor, para ello la figura (9.3) muestra la conversión de gases tóxicos antes de la entrada del convertidor y después de la salida del mismo.

Fig. 9.2 Desactivación del Reactor Catalítico en Condiciones Severas de Trabajo a Nivel de Planta VAM (1989)



OXIDACION

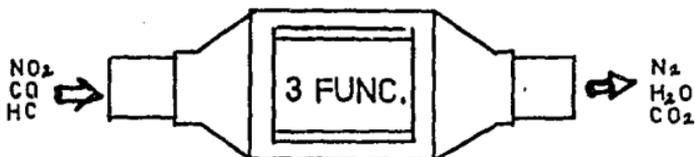


(HC) HIDROCARBUROS
(CO) MONOXIDO DE CARBONO
(O₂) AIRE SECUNDARIO



AGUA (H₂O)
BIOXIDO DE CARBONO (CO₂)

TRES FUNC.

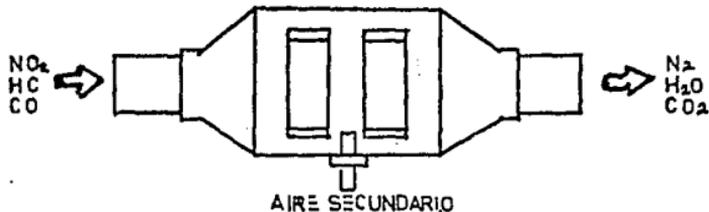


(NO₂) OXIDO NITROSO
(CO) MONOXIDO DE CARBONO
(HC) HIDROCARBUROS



NITROGENO (N₂)
BIOXIDO DE CARBONO (CO₂)
AGUA (H₂O)

TRES FUNC. MAS OXIDA.



(NO₂) OXIDO NITROSO
(CO) MONOXIDO DE CARBONO
(HC) HIDROCARBUROS



NITROGENO (N₂)
AGUA (H₂O)
BIOXIDO DE CARBONO (CO₂)

Fig. 9.3 Representación Esquemática de las Funciones de los Diferentes Tipos de Convertidores

IX.2 Evaluación en Motores de Banco

Para la evaluación de los sistemas catalíticos se utilizó un motor de banco de diferentes marcas (solo por mencionar alguna se explicara lo referente a un motor Volkswagwen de cuatro cilindros). se determino el perfil de temperaturas desde el motor hasta la salida de los gases de escape a una velocidad angular de 2500 rpm. Se midió el efecto de la velocidad angular en la temperatura del convertidor y la relación del gasto de acuerdo a la velocidad angular determinándose los tiempos de residencia.

Las pruebas se realizaron de acuerdo al sistema siguiente. no obstante este sistema no es el único, todo depende del tipo de combustible a usar.

- Verificación de especificaciones del motor cada 30 minutos.
- Calentamiento 8-10 horas (Relenti = 2000 rpm)
- Estabilización a 15 min (2200-2400 rpm)
- Funcionamiento del motor en su ciclo operativo, variando las velocidades angulares entre relenti y 4000 rpm, tomando la muestra cada 30 min, durante 12 horas con un mofle convencional y posteriormente con convertidor catalítico.

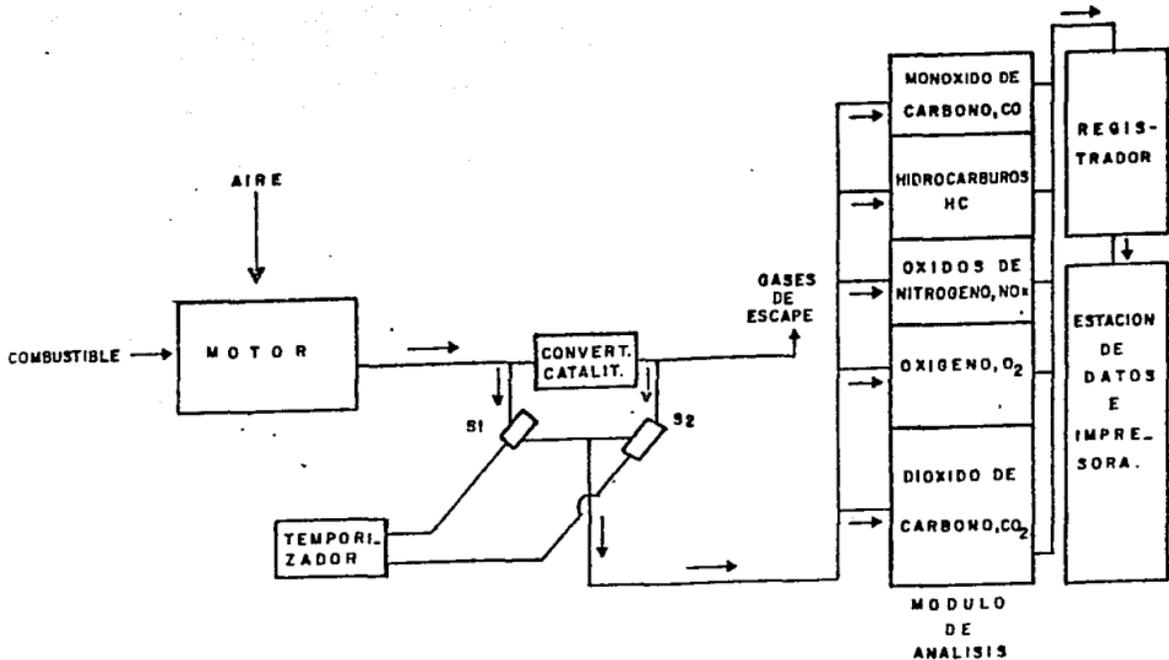
La estación de datos previamente establece una frecuencia en la toma de datos de 30 min debido a que el temporizador abre un selenoide la primera 1/2 hora y el otro selenoide en la siguiente, de manera que se puede determinar simultaneamente las concentraciones de CO, HC, NOx almacenándose estos datos en el registrados de 15 canales y grabandose en la impresora las concentraciones puntuales de los contaminantes antes mencionados. Las muestras son analizadas automáticamente por un equipo computarizado integrado con el equipo de quimicoluminiscencia para la determinación de NOx y un infrarrojo para la determinación de CO y HC. en la figura (9.4) se muestra el sistema de computo en el IMP, y en la figura (9.5) se muestra el sistema de computo para analisis de partículas y gases segun la EPA.

Para efectos de comparación de las velocidades angulares en relación al manejo de un vehículo, se tiene:

Velocidad Angular

800 - 1200 rpm	Relenti (motor encendido)
2000 - 2400 rpm	Crucero (nivel medio de velocidad)
2400 - 4500 rpm	Acelerado (nivel alto de velocidad)

Fig. 9.4 Sistema de Computo Integrado para el Analisis de Gases de Escape IMP (1989)



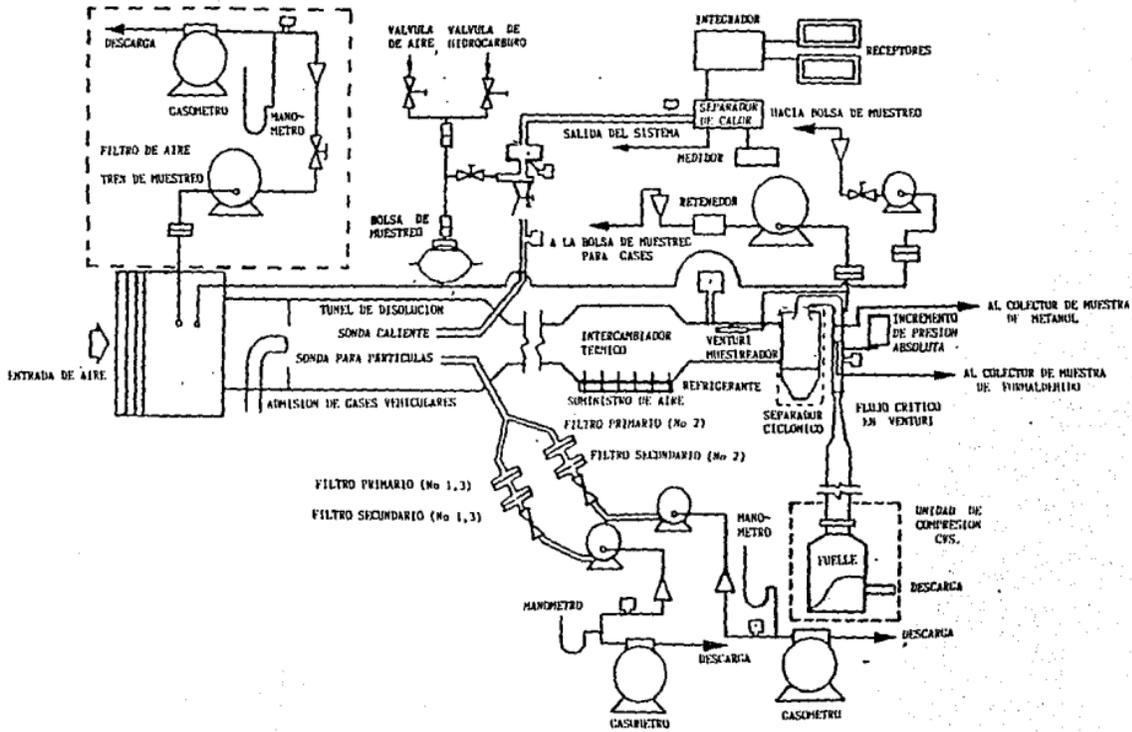


Fig. 9.5 Tren de Muestreo Para el Analisis de Particulas y gases en un Sistema (CFV-CVS) EPA Code of Federal Regulation

El análisis del perfil de temperaturas mostro los resultados que se presentan en la figura (9.6).

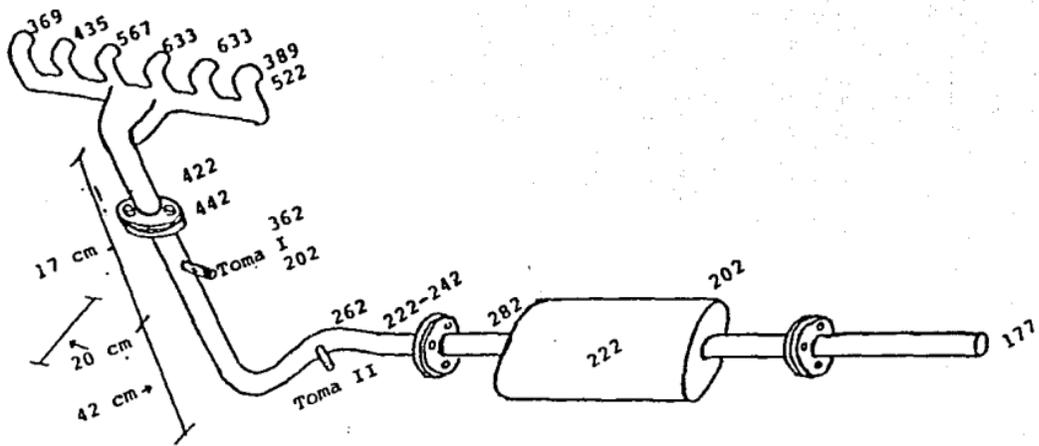
En la grafica (9.7) se muestra la variación de la temperatura en el convertidor catalítico con la velocidad angular. Se colocaron termopares a la entrada, en el centro y a la salida del convertidor. Se observa que a medida que aumenta la velocidad angular, la temperatura también se incrementa.

La relacion de gasto con la velocidad se muestra en la grafica (9.8) en la que se aprecia tambien el aumento continuo del gasto al incrementarse la velocidad.

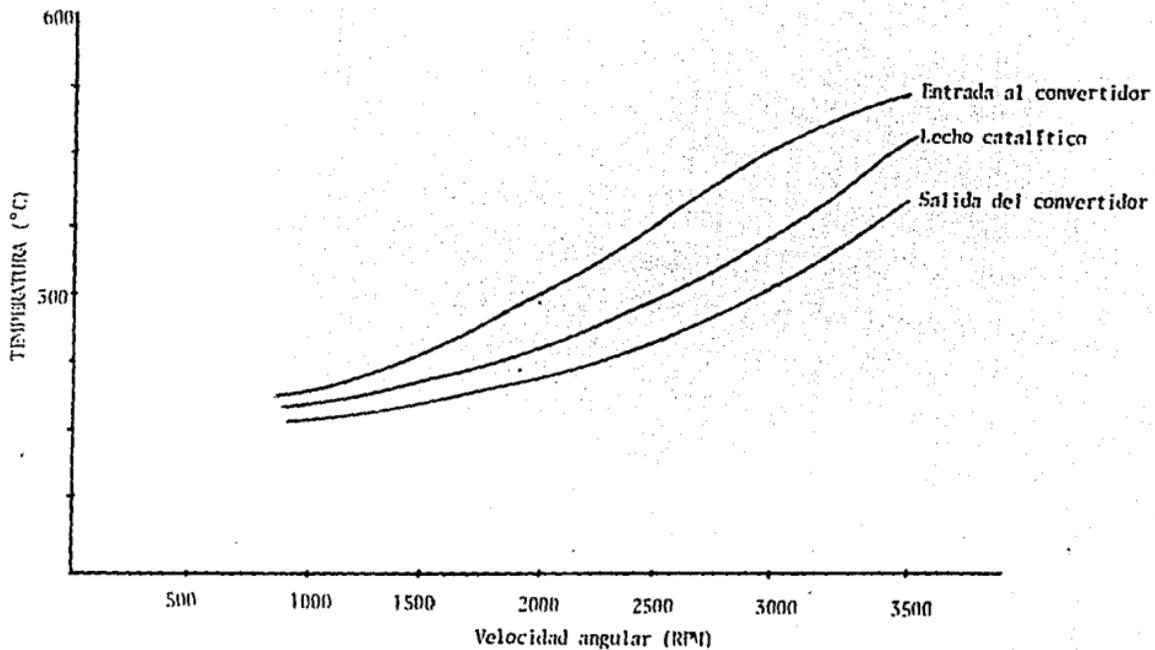
Los resultados en cuanto a los porcentajes de conversión en función a la velocidad angular, la temperatura y el tiempo de residencia se muestran en las graficas (9.9) a (9.11). Las conversiones más altas aparecen en la velocidad angular de 1500 a 2500 rpm o sea, a velocidad de crucero, en la cual la relación aire/combustible es cercana a la estequiométrica; la máxima conversión aparece alrededor de los 300°C para los 3 sistemas. Se observa que al aumentar la temperatura, la conversión disminuye lo cual se contradice con los resultados obtenidos en microplanta, sin embargo en las pruebas a nivel laboratorio el gasto se mantuvo constante al variar la temperatura y en la prueba de banco el aumento de temperatura es consecuencia de revolucionar más el motor y la entrada de la mezcla de gases es muy rica en combustible, alejándose mucho de la ventaja estequiométrica óptima de conversión.

En todos los sistemas se observa que en condiciones estequiométricas de relación (A/F), se tienen las mayores conversiones y que para aumentar los intervalos de trabajo del catalizador es necesario, por una parte, lograr que a bajas velocidades se alcancen las temperaturas de conversión, y que a altas velocidades se logre mantener la relación estequiométrica.

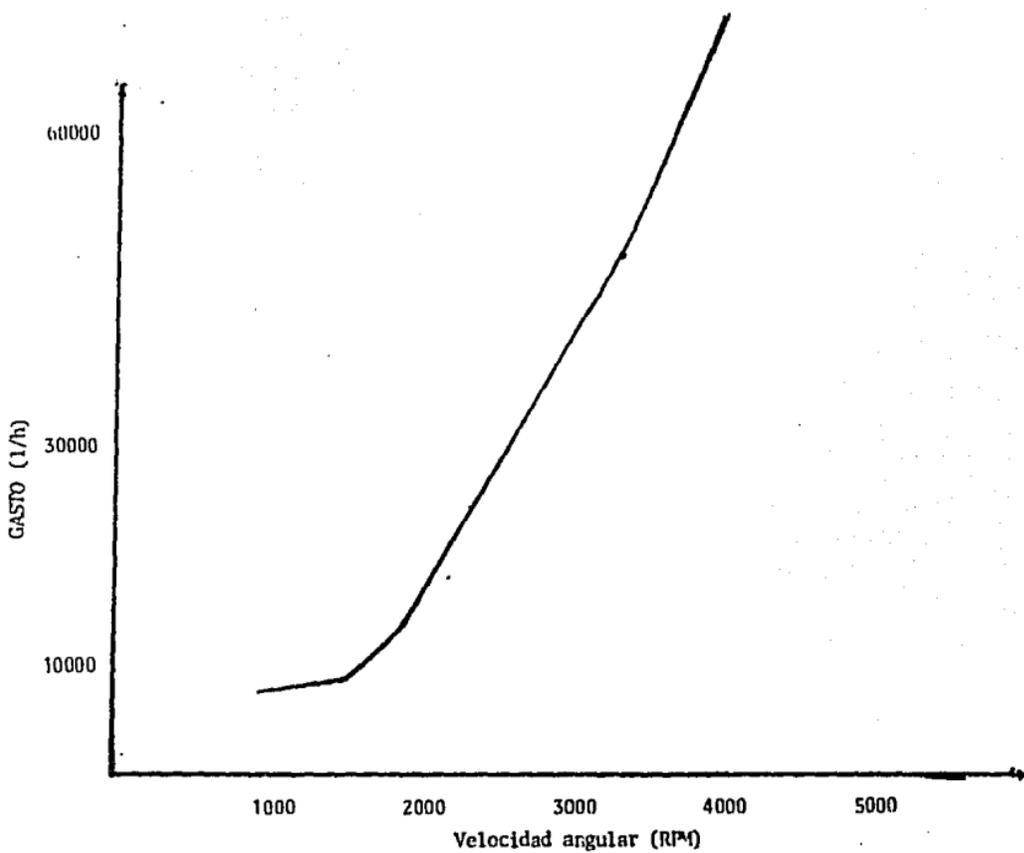
Fig. 9.6 Perfil de Temperaturas en Pruebas de Motor de Banco IMP 1989



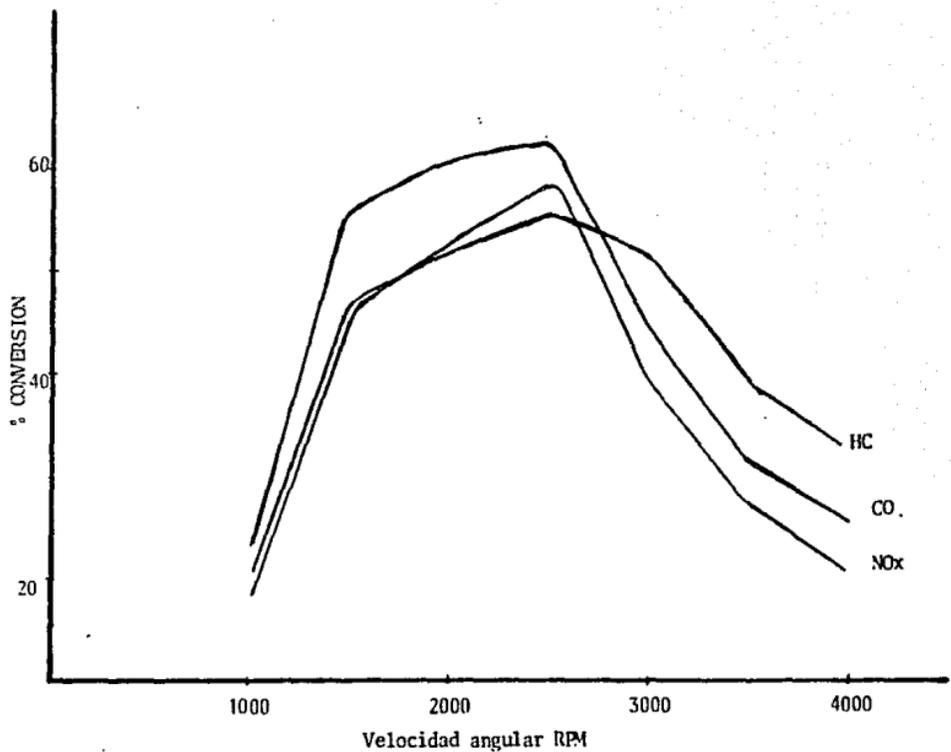
GRAFICA 9.7 VARIACION DE LA TEMPERATURA CON LA VELOCIDAD ANGULAR IMP 1989



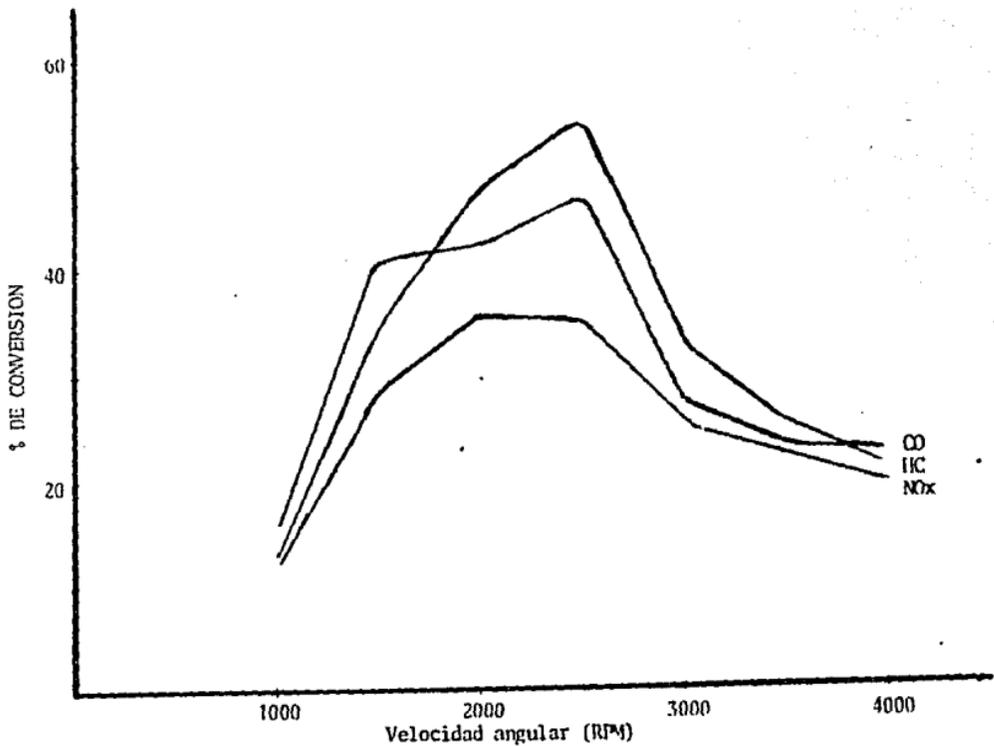
GRAFICA 9.8 VARIACION DEL GASTO EN FUNCION DE LA VELOCIDAD ANGULAR



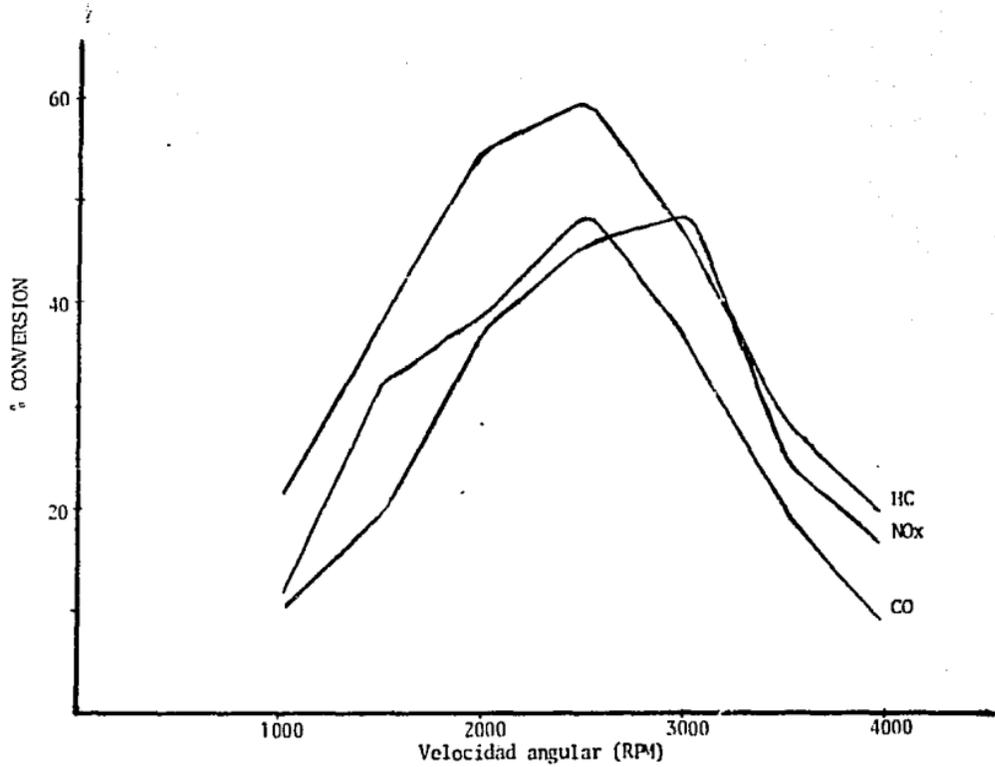
GRAFICA 9.9 ACTIVIDAD DEL CATALIZADOR IMI EN RELACION A LA VELOCIDAD ANGULAR



GRAFICA 9.10 ACTIVIDAD DEL CATALIZADOR IMI I EN RELACION A LA VELOCIDAD ANGULAR



GRAFICA 9.11 ACTIVIDAD DEL CATALIZADOR IMITI EN RELACION A LA VELOCIDAD ANGULAR



CAPITULO X

CONCLUSIONES

CAPITULO X

CONCLUSIONES

La contaminación atmosférica es un fenómeno que responde a múltiples factores, lo que hace compleja una gestión exitosa de la política ambiental. Además del amplio espectro de mecanismos económicos, institucionales, normativos y regulatorios, capaces de llevar a la práctica estas posibilidades, en donde cada una de ellas encierra distintas opciones tecnológicas con relación costo/beneficio y un impacto económico y social diferente; es por ello que no es posible formular una conclusión específica y concreta: Sin embargo las conclusiones con mayor prioridad y aplicables a un corto plazo son:

-La producción de mejores combustibles en los plazos más cortos posibles, como son el adicionar Metil-Ter-Butil-Eter a la gasolina Magna Sin y la eliminación de Tetra-Etilo de Plomo en la gasolina Nova. Asimismo, elaboración de diesel con bajo contenido de azufre al igual que el combustóleo.

-Reconversión de flotillas de camiones de carga de gasolina a gas LP, incorporado con convertidor catalítico, y el uso obligatorio de convertidor catalítico en cualquier tipo de vehículo sin importar el tipo de combustible que consuma: a partir de modelos 1989 en adelante.

-Se logró desarrollar un convertidor catalítico capaz de efectuar conversiones del 50% a velocidad de cruce de los principales contaminantes vehiculares, utilizando en su mayoría materias primas nacionales, de bajo costo y con tecnología 100% mexicana.

-Las pruebas en motor de banco presentaron los mejores resultados con conversiones de aproximadamente del 50% para las emisiones de CO y HC y el 45% para NOx en velocidades angulares de 1500-2500 rpm, donde se tiene una (A/F) estequiométrica, a dicha velocidad se alcanza la temperatura de 300°C y un tiempo de residencia de 0.6 segundos.

-Los resultados de conversión de los gases de CO y HC fueron muy satisfactorios a nivel microplanta dando un porcentaje de conversión del 70% para ambos gases: a nivel motor de banco las conversiones fueron un poco menores debido a que no es posible controlar perfectamente todos los parámetros.

-Los sistemas catalíticos con mayor durabilidad y eficiencia son aquellos que contienen metales preciosos (platino, paladio y rodio). ya que sólo convierten gases provenientes de gasolinas sin plomo y los convertidores con otros tipos de metales (Vanadio, Cobre etc.) pueden convertir gases de gasolinas con plomo o sin plomo.

CAPITULO XI

APENDICE

CAPITULO XI

APENDICE

Equipo CVS (Muestra a Volumen Constante)

Esta determinación se efectúa según el método oficial DGN-AA-11-1979 y consiste en efectuar un recorrido simulado típico de un vehículo en la ciudad. Durante este recorrido simulado se tiene una duración de 20 minutos. los gases emitidos por dicho vehículo se recolectan en una bolsa, para su posterior análisis de emisiones tanto de CO e HC.

El equipo esta integrado por:

Un dinamómetro de piso (Clayton), el cual posee un medidor de potencia y otro de velocidad; y con una gráfica de recorrido simulado. Durante este recorrido, se recolectan los gases y se pasan a través de un tunel donde éstos se diluyen con aire atmosférico para después ser filtrados, una alicouta se almacena en una bolsa Teddlar para ser analizada.

Para cuantificar el CO se emplea equipo de detección infrarrojo (Beckman) y para el HC se usa equipo de Ionización de flama.

Cálculos de Emisiones de Equipo CVS

Simbología:

HC masa : Emisión de hidrocarburos en g/Km por vehículo.

δ HC : Densidad de los hidrocarburos en los gases de escape suponiendo una relación de 1:1.85 de átomos de carbono en g/dm^3 @ 20°C y 585 mm de Hg.

HC con. : Concentración de hidrocarburos en la masa diluida de los gases de escape menos la concentración de HC de la muestra de aire en ppm de carbono equivalente: (ejemplo propano por 3)

CO masa : Emisión de monóxido de carbono en g/Km recorrido.

δ CO : Densidad del monóxido de carbono en g/dm^3 @ 20°C y 585 mm de Hg del CO.

CO con. : Concentración del monóxido de carbono en la muestra diluida de gases de escape menos la concentración del monóxido de carbono de la muestra de aire en el volumen presente en %

N : Número de revoluciones de la bomba de desplazamiento positivo durante la prueba en que las muestras se colectan.

Tb : Temperatura promedio los gases de escape diluidos entrando a la bomba de desplazamiento durante la prueba en que las muestras se colectan (° Kelvin).

XH : Factor de corrección:

$$KH = \frac{1}{1 - 32.90 * (h - 0.0107)}$$

h : Es la humedad absoluta en g de agua/g de aire seco

$$h = 0.00621 * \left(\frac{Ra * Pb}{Pb - Pb * Ra/100} \right) \frac{\text{g de agua}}{\text{g de aire seco}}$$

Ra : La densidad relativa del aire ambiente (%)

Pb : presión de vapor saturado a la temperatura de bulbo seco ambiente en mm de Hg.

NOx masa : Emisiones de óxido de nitrógeno g/Km recorrido

δ(NO) : Densidad de los óxidos de nitrógeno en el gas de escape suponiendo que están en la forma de dióxido de nitrógeno en gr/dm³ @ 20°C y 585 mm de hg (1.473 g/dm³) (41.718 g/ft³)

NOc con : Densidad de los óxidos de nitrógeno de la muestra diluida de los gases de escape menos la concentración de los óxidos de nitrógeno de la muestra de aire en ppm.

Vm : Volumen total de la muestra diluida de los gases de escape a condiciones normales @ (293°K y 585 mm Hg.)

$$VM = K_i * V_o * N * \left(\frac{P_b - P_i}{TB} \right)$$

donde :

$$K_i = \frac{293 * K}{585 \text{ mm Hg} * 12.068 \text{ Km}} = 0.0415$$

V_o : Volumen bombeado por la bomba de desplazamiento positivo en centímetros cúbicos por revoluciones. Este volumen depende de la diferencia de presiones en la bomba (entrada - salida):

1. Masa de hidrocarburos :

$$HC \text{ masa} = V_m * \delta_{HC} * c_{HC}/10^6$$

2. Masa de monóxido de carbono:

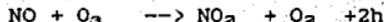
$$CO \text{ masa} = V_m * d_{CO} * c_{CO}/100$$

3. Masa de óxidos de nitrógeno:

$$NO \text{ masa} = V_m * \delta_{NO} * c_{NO}/10^6 * KH$$

Equipo Analizador de Oxidos de Nitrogeno

El principio teórico para el análisis es la reacción del óxido nítrico con ozono que produce quimiluminiscencia pudiéndose medir concentraciones de 2.5 - 10000 ppm. El analizador consta de un convertidor en el los NOx son transformados a NO, una cámara de reacción en la que se lleva a cabo la reacción:



Y finalmente por un detector con filtro y fotomultiplicador que mide la respuesta quimiluminiscente que es proporcional a la concentración de NOx.

DIFERENCIAS QUIMICAS ENTRE LA GASOLINA TIPICA Y EL GAS LP

Por Composición.

Mientras que el gas LP es una mezcla cuyos principales componentes son el propano y el butano, los hidrocarburos que componen la gasolina están comprendidos entre los que poseen cuatro átomos de carbono (C_4) y los que tienen 10 - 11 átomos de carbono ($C_{10} - C_{11}$) entre ellos los parafínicos, nafténicos, olefínicos y aromáticos.

Por Estado Físico.

El gas LP se encuentra en estado gaseoso a la presión y temperatura ambiente, pero a presiones mayores que la atmosférica, se tienen en estado líquido; la gasolina permanece en estado líquido a condiciones ambientales, pero al someterla a presiones altas, esta puede explotar.

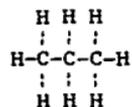
Por Densidad.

Como término promedio, la densidad del gas LP es de 0.55 Kg/lit y la de la gasolina es de 0.730 Kg/lit

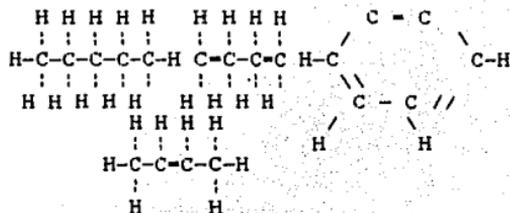
Por Poder Calorífico

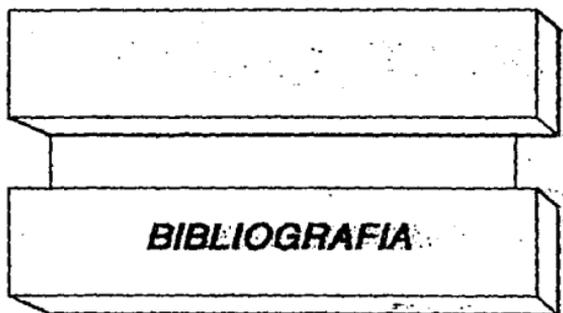
	Gasolina	Gas LP
Poder calorífico Promedio		
Superior (Kcal/Kg)	11.300	11.850
Inferior (Kcal/Kg)	10.500	11.000
Superior (Kcal/lit)	8.200	6.480
Inferior (Kcal/lit)	7.600	6.050

GLP (PROPANO)
FORMULA C_3H_8



GASOLINA (TIPICA)
FORMULA $n=4$, $n=13$
 $C_nH_{2n} + C_nH_{2n-2} + C_nH_{2n-6}$





BIBLIOGRAFIA

- * Afinaciones y Conversione S.A. de C.V.
Av. Juarez 28-B Ote. Torreón Coah. México
- * Bravo A.H. Etal
Efecto del cambio en la formulación de gasolina sobre los niveles en la atmosfera con plomo y ozono en la ciudad de México.
VI Congreso SMISA. A.C. Queretaro, Agosto 1988
- * Bravo A.H. Etal
La contaminación del aire en México
Universo Veintiuno, México 1987
- * Cheriyl L. Dickson & Paul W. Woodward
National Institute for Petroleum and Energy Research
Diesel Fuel Oil 1990
- * Code of Federal Regulations
Environment Protection Agency
Revised as of July 1 1991.
- * Diario Ofial de la Federacion
22 Oct. 1993
18 Nov. 1993
- * Dante Giacosa
Motores Endotermicos
Edit. Omega Barcelona. España (14a. edición)
1990
- * Dwyer, F.
Catalysis For Control of Automotive Emissions
Cat. Rev. Sci. Eng. Vol. 6 No 2. 1975
- * Edward F. Obert
Motores de Combistión Interna
Edit. Continental. México. 1985
- * Enviromental Proteccion Agency
Consultant Report of the Comittee on Motor Vehicle Emissions on an Evaluation of Catalytic Converters for Control of Automobile Exhaust Pollutants. Washington. Jul. 1975
- * Hayes B.D. Maness. M.T.
Motor Vehicle Emissions Control Book with Catalitic Converter System
EPA Research Triangle Park Nov. 1987
- * Hightower. J.
Preparation of Catalysts
Ed. Delmon. Amsterdam

- * Institut Francais Du Petrole
Industrial Division
Additives for Gasoline Gas Oil an Fuel Oil
- * Instituto Mexicano del Petroleo
División de Investigación Básica de Proceso
Departamento de Motoquimia
- * Klimish R.
The Chemistry of Degradation in Automobile Emissions
Control Catalysts. Am. Meeting of the Catalysts Society
1982
- * Lester C. Lichty
Proceso de los Motores de Combustión
Ed. McGraw-Hill 1970
- * Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al
Ambiente.
Septima Edición
Ed. Porrúa; México. 1992
- * Nilda A.G. y Pedro Jauge
Nociones Basicas de Toxicología
Depto. Farmacología y Toxicología I.P.N.. Mexico 1985
- * Orville Adams
Motores Diesel
Ed. Guatavo Gili (Quinta Edición)
- * Phillip L. Williams & James L. Burson
Industrial Toxicology
Van Nostrand R. New York.
- * Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la
Zona Metropolitana de la Ciudad de México
Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
SEDUE Oct. 1991
- * Programa para el Uso del Gas Licuado de Petroleo y Gas
Natural Comprimido en el Autotransporte Público y
Concesionado.
Comisión Metropolitana Para la Prevención y Control de la
contaminación en el Valle de México.
D.D.F. Febrero 1992.
- * Reporte Anual Sobre La Calidad del Aire en la Ciudad de
México
Coordinación General de Reordenación Urbana y Protección
Ecológica
D.D.F. Febrero 1991.

- * Revista Mecánica Popular
Como Reparar el Convertidor Catalítico de su Automóvil
Mort Schultz
Vol. 39 No 3. 1986

- * Revista Automotive Engineering
Rhodium Alternatives in Emissions Catalysts
Vol. 100 No 7
Julio 1992

- * Turbocharger Performance Application
Society of Automotive Engineers (SAE)
Febrero 22. 1982

- * TRI-D AND C. PRODESA S.A. de C.V.
Av. Rio Magdalena 117 Col. San Angel
Mexico, D.F.

- * M.I. Violeta Múgica Alvarez
Desarrollo de un Catalizador para el Control de Emisiones
Vehiculares
División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería
Ciudad Universitaria. Mexico 1987

- * Weekman. V.
Course Notes on Catalytic Muffler Design
Mobil Research and Development Corp.
1978