



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

22

**CONVERTIDORES CATALITICOS EN
MEXICO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
JESÚS SERGIO GONZÁLEZ GUERRA

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. DANIEL ALDAMA ÁVALOS

MEXICO

282574

2000.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

A JESÚS SERGIO GONZÁLEZ MALTOS,
Mi padre

A MARIA TRINIDAD GUERRA GONZÁLEZ,
Mi madre

A EZEQUIEL GONZÁLEZ GUERRA,
Mi hermano

CONTENIDO	PAGINA
CAPITULO I MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 HISTORIA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	1
1.2.1 CICLO OTTO	2
1.2.2 CICLO DIESEL	3
1.2.3 CICLO DE DOS TIEMPOS	3
1.3 MOTORES DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA	5
1.3.1 ADMISIÓN	5
1.3.2 COMPRESIÓN	6
1.3.3 EXPANSIÓN	6
1.3.4 ESCAPE	7
1.3.5 ACCIÓN DE LAS VÁLVULAS	7
1.3.6 ENCENDIDO DE LA MEZCLA	8
1.3.7 CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOSIÓN	9
1.4 ESTEQUIOMETRIA EN EL CICLO OTTO	10
1.4.1 MEZCLA ESTEQUIOMETRICA	11
1.4.2 PROPORCIÓN EN PESO DE LA MEZCLA IDEAL	12
1.4.3 RELACIÓN DE AIRE LAMBDA	13
1.4.4 RAZÓN DE EQUIVALENCIA	15
1.5 COMBUSTIBLES	15
1.5.1 POTENCIA CALORÍFICA	16
1.5.2 CALOR DE VAPORIZACION	16
1.5.3 IMPUREZAS	16
1.6 COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA	16
1.6.1 DENSIDAD	16
1.6.2 VISCOSIDAD	17
1.6.3 NUMERO DE OCTANO	17
1.6.4 VOLATILIDAD	18
1.6.5 TRANSCURSO DE LA EBULLICIÓN	18
1.6.6 PRESIÓN DE VAPOR	18
1.6.7 PROPORCIÓN LIQUIDO-VAPOR	19
1.6.8 ADITIVOS	19
1.6.8.1 ELEVACIÓN DE LA ANTIDETONANCIA	19
1.6.8.2 PROTECCIÓN CONTRA EL ENVEJECIMIENTO	19
1.6.8.3 LIMPIEZA DEL SISTEMA DE ADMISIÓN	20
1.6.8.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CONGELACIÓN	20
1.6.8.5 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSION	21
1.6.9 GASOLINA SIN PLOMO	21
1.6.10 GASOLINAS MEXICANAS	21
1.6.11 GAS LICUADO DE PETROLEO	21
1.6.12 ALCOHOL	22
1.6.13 GAS NATURAL	23
CAPITULO II PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN DE LAS GASOLINAS	
II.1 INTRODUCCION	24
II.2 CLASIFICACION DE LOS GASES CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LAS GASOLINAS	24

II.2.1 GASES DE LA COMBUSTIÓN COMPLETA	24
II.2.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO	24
II.2.1.2 AGUA	26
II.2.2 GASES DE LA COMBUSTIÓN INCOMPLETA	26
II.2.2.1 HIDROCARBUROS NO QUEMADOS	26
II.2.2.1.1 PARAFINAS	27
II.2.2.1.2 OLEFINAS	28
II.2.2.1.3 AROMÁTICOS	29
II.2.2.2 HIDROCARBUROS PARCIALMENTE QUEMADOS	30
II.2.2.2.1 ALDEHÍDOS	30
II.2.2.2.2 CETONAS	31
II.2.2.2.3 ÁCIDOS CARBOXÍLICOS	31
II.2.2.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO	32
II.2.2.3 PRODUCTOS DE LA DESINTEGRACIÓN	33
II.2.2.3.1 ACETILENO	34
II.2.2.3.2 ETILENO	35
II.2.2.3.3 HIDROGENO	35
II.2.2.3.4 HIDROCARBUROS POLI CÍCLICOS	36
II.2.3 SUBPRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN	36
II.2.3.1 MONÓXIDO DE NITRÓGENO	36
II.2.3.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO	37
II.2.3.3 ÓXIDOS DE PLOMO	38
II.2.3.4 DIÓXIDO DE AZUFRE	39
II.2.4 OXIDANTES (OZONO)	39
II.3 CONTAMINACION	41
II.3.1 CONTAMINANTE	41
II.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES	41
II.3.2.1 AEROSOL	41
II.3.2.1.1 POLVOS	41
II.3.2.1.2 HUMOS	42
II.3.2.1.3 NEBLINAS	42
II.3.2.1.4 EMANACIONES	42
II.3.2.2 GASES Y VAPORES	42
II.3.2.2.1 DIÓXIDO DE AZUFRE	42
II.3.2.2.2 ÁCIDO SULFÚRICO	42
II.3.2.2.3 ÁCIDO FLUORHÍDRICO	42
II.3.2.2.4 ÓXIDO DE NITRÓGENO	43
II.3.2.2.5 ALDEHÍDOS	43
II.3.2.2.6 MONÓXIDO DE CARBONO	43
II.3.2.2.7 VAPORES ORGÁNICOS	43
II.4 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE	43
II.4.1 IMECAS HORARIO Y DIARIO	45
II.4.1.1 IMECA HORARIO	45
II.4.1.2 IMECA DIARIO	46
II.4.2 PLAN DE CONTINGENCIA AMBIENTAL	46
II.5 VERIFICACION VEHICULAR	47

CAPITULO III SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES EN UN AUTOMOVIL	
III.1 INTRODUCCION	49
III.2 HISTORIA DE LAS REGULACIONES ANTICONTAMINANTES	49
III.3 SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES	50
III.3.1 SISTEMAS DE PRECOMBUSTIÓN	51
III.3.1.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN POSITIVA DEL CARTER	51
III.3.1.2 CONTROLES EVAPORATIVOS	53
III.3.1.2.1 TAPÓN DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE	53
III.3.1.2.2 TANQUE DE COMBUSTIBLE	54
III.3.1.2.3 SEPARADOR DE VAPOR	54
III.3.1.2.4 DEPOSITO DE CARBON ACTIVADO	55
III.3.1.3 RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE	56
III.3.1.4 CONTROL DE CHISPA	57
III.3.1.5 SISTEMAS DE AIRE TERMOSTATICO	59
III.3.1.6 INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	60
III.3.1.7 ÁRBOL DE LEVAS	61
III.3.1.8 CONTROL COMPUTARIZADO	62
III.3.1.8.1 CIRCUITO ABIERTO	64
III.3.1.8.2 CIRCUITO CERRADO	65
III.3.2 SISTEMAS DE POST-COMBUSTIÓN	65
III.3.2.1 INYECCIÓN DE AIRE	65
III.3.2.2 REGULACIÓN LAMBDA	66
III.3.2.3 CONVERTIDORES CATALÍTICOS	69
CAPITULO IV CONVERTIDORES CATALITICOS	
IV.1 INTRODUCCION	71
IV.2 CATALISIS Y CATALIZADOR	71
IV.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CATALIZADOR	71
IV.2.2 CLASIFICACIÓN	73
IV.2.2.1 HOMOGÉNEA	73
IV.2.2.2 HETEROGÉNEA	74
IV.2.2.3 ENZIMÁTICA	74
IV.2.3 APLICACIONES INDUSTRIALES	75
IV.2.3.1 FASE ACTIVA	75
IV.2.3.2 SOPORTE	75
IV.2.3.3 PROMOTOR	76
IV.2.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO	76
IV.2.4.1 ACTIVIDAD	77
IV.2.4.2 SELECTIVIDAD	77
IV.2.4.3 ESTABILIDAD	77
IV.2.4.4 DESACTIVACIÓN	78
IV.3 CONVERTIDOR CATALITICO	78
IV.3.1 ANTECEDENTES DEL CATALIZADOR	78
IV.3.2 DEFINICIÓN DEL CONVERTIDOR CATALITICO	79
IV.3.3 FUNCIONAMIENTO QUÍMICO DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO	79
IV.3.3.1 POLARES	80
IV.3.3.2 NO POLARES	82
IV.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS	82

IV.3.4.1 DOS VÍAS	82
IV.3.4.2 TRES VÍAS + AIRE	83
IV.3.4.3 TRES VÍAS + SENSOR LAMBDA	84
IV.3.4.4 PRE-CONVERTIDOR DE DOS VÍAS	84
IV.3.4.5 MATERIALES ACTIVOS	84
IV.3.4.5.1 CATALIZADORES CON METALES NOBLES	85
IV.3.4.5.2 CATALIZADORES CON METALES NO NOBLES	86
IV.3.4.5.3 PROMOTORES UTILIZADOS EN LOS CONVERTIDORES	87
IV.3.4.6 CUBIERTA PROTECTORA	87
IV.3.4.7 CONVERTIDORES CATALÍTICOS SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE	88
CAPITULO V FABRICACIÓN Y LEGISLACIÓN	
V.1 INTRODUCCIÓN	91
V.2 ACUERDO	91
V.2.1 CARGA TOTAL	91-
V.2.2 CONVERSIÓN	91
V.2.3 CONVERTIDOR CATALÍTICO	91
V.2.4 NÚCLEO CERÁMICO	91
V.2.5 RELACIÓN	92
V.2.6 VOLUMEN	92
V.2.7 VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO	92
V.2.8 EFICIENCIA	92
V.3 PROGRAMA INTEGRAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES (PIREC)	92
V.3.1 FABRIC ANTES	93
V.3.1.1 US-FEDERAL TEST (FTP 75)	94
V.3.2 TALLERES	95
V.3.3 LISTADO DE FABRICANTES, DISTRIBUIDORES E IMPORTADORES CERTIFICADOS POR PIREC	96
V.4 LEGISLACIÓN NORTEAMERICANA	98
V.6 FALLAS DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS	99
V.6 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL REEMPLAZO DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO	101
V.7 TÉRMINOS DE GARANTÍAS	104
CAPITULO VI TRABAJO DE CAMPO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
VI.1 INTRODUCCIÓN	105
VI.2 ENTREVISTAS	105
VI.3 CONCLUSIONES GENERALES	123
VI.4 RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	125

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONCEPTO	PAGINA
I.1	CICLO OTTO	3
I.2	CICLO DIESEL	3
I.3	CICLO DEL MOTOR DE DOS TIEMPOS	4
I.4	LUBRICACIÓN DEL CIGÜENAL EN UN MOTOR DE CUATRO Y DOS TIEMPOS	5
I.5	DIAGRAMA PV PARA UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS	6
I.6	REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA DE MOTOR DE CUATRO TIEMPOS	7
I.7	REGULACIÓN DE LAS VÁLVULAS EN EL MOTOR	8
I.8	DIAGRAMAS PV DEL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS PARA DIFERENTES AVANCES DE LA CHISPA	9
I.9	DETONACIÓN DE LA ÚLTIMA PORCIÓN DE LA MEZCLA	10
I.10	INFLUENCIA DE LA RELACION LAMBDA EN LA POTENCIA Y EN EL CONSUMO DE GASOLINA	14
I.11	VARIACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE HC, CO Y NO _x EN FUNCION DE LA RAZON DE EQUIVALENCIA	15
II.1	ESQUEMA DE LOS PUNTOS DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS SIN QUEMAR	27
II.2	MECANISMOS DE FORMACIÓN DEL CO EN UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS	34
II.3	FORMACIÓN DEL MONOXIDO DE NITRÓGENO EN LA COMBUSTIÓN	37
III.1	SISTEMA PCV CON TUBO DE DESCARGA	51
III.2	VISTA SECCIONAL DE UNA VÁLVULA PCV	52
III.3	COMPARACIÓN DE SISTEMAS PCV ABIERTO Y CERRADO	53
III.4	SISTEMA TÍPICO DE CONTROL DE EMISIONES EVAPORATIVAS	54
III.5	VÁLVULA SEPARADORA DE VAPOR	55
III.6	CANISTER DE CARBON CON VÁLVULA DE PURGA	56
III.7	VÁLVULA EGR CONTROLADA POR VACIO	57
III.8	SISTEMAS DE CONTROL DE ENCENDIDO DE UN MOTOR	58
III.9	SISTEMA DE AIRE TERMOSTÁTICO	59
III.10	INYECTORES DE COMBUSTIBLE	61
III.11	SISTEMA VTEC	62
III.12	DIAGRAMA A BLOQUES DEL ECM	63
III.13	ESQUEMA A BLOQUES DE UN CIRCUITO DE CONTROL CERRADO	64
III.14	BOMBA DE AIRE	65
III.15	VÁLVULA DESVIADORA Y DE RESTRICCIÓN	66
III.16	POSICIÓN DEL SENSOR LAMBDA EN UN SISTEMA DE ESCAPE DUAL Y MUESTRA ESQUEMATICA DE SU VOLTAJE	67
III.17	CORTE EN SECCION DEL SENSOR DE OXIGENO	68
III.18	SENSOR DE OXIGENO DEL TIPO CALIENTE (HO2S)	69
III.19	CURVA DE VOLTAJE EN UN SENSOR LAMBDA	69
III.20	INSTALACIONES DEL CONVERTIDOR CATALITICO	70
IV.1	DIAGRAMA DE ENERGIA POTENCIAL PARA UNA REACCION EXOTÉRMICA Y UNA ENDOTÉRMICA	73
IV.2	ESQUEMA DE LOS POROS DENTRO DE UN CATALIZADOR	81
IV.3	CONVERTIDOR CATALITICO DE DOS VIAS	83
IV.4	CONVERTIDOR CATALITICO DE TRES VIAS + AIRE	84
IV.5	CONVERTIDOR CATALITICO DE TRES VIAS + SENSOR DE OXIGENO	85

IV.6	CONVERTIDOR CATALITICO CON CUBIERTA DE ACERO Y MALLA DE ASBESTO	89
IV.7	PROTECCIÓN TÉRMICA DE LA CARROCERÍA	89
V.1	CICLO FTP 75 Y SU INSTALACIÓN	95
V.2	MEDICIÓN DE VACÍO EN UN MOTOR	99
V.3	CONVERTIDOR CATALITICO CON RAJADURA	100
V.4	CONVERTIDOR CATALITICO DE BRIDAS	101
V.5	CORTADOR DE TUBOS DE ESCAPE	102
V.6	SISTEMA DE ESCAPE CON ABRAZADERAS	103
VI.1	CONVERTIDORES CATALITICOS HBM	106
VI.2	EFEECTO DE DIFUSOR EN EL INTERIOR DEL CONVERTIDOR	114

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONCEPTO	PAGINA
I.1	RESUMEN ESTADÍSTICO DE LAS FUENTES CONTAMINANTES Y SUS PROPORCIONES	1
I.2	PORCENTAJE EN VOLUMEN Y PESO DE LOS ELEMENTOS QUE CONTIENE EL AIRE	11
I.3	DIFERENTES CONDICIONES DE LA RELACION LAMBDA	14
I.4	EXIGENCIAS MINIMAS DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS PARA MOTOR OTTO	20
I.5	CARACTERÍSTICAS DE LAS GASOLINAS MAXICANAS	22
II.1	CLASIFICACIÓN DE LOS GASES CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LA COMBUSTION DE LAS GASOLINAS	25
II.2	HIDROCARBUROS PARAFINICOS Y SUS PROPORCIONES EN SUS GASES DE ESCAPE	28
II.3	CONCENTRACIÓN DE OLEFINAS EN LOS GASES DE ESCAPE	29
II.4	PPM DE LOS AROMÁTICOS	30
II.5	CONCENTRACIÓN DE CO EN DIVERSOS LUGARES	32
II.6	EFFECTOS DE LOS OXIDOS DE AZUFRE EN LA SALUD	40
II.7	VALORES NORMADOS PARA LOS CONTAMINANTES	44
II.8	ECUACIONES DE TRANSFORMACIÓN (CONCENTRACIÓN A IMECA)	45
II.9	ESCALA DEL INDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE	46
II.10	NIVELES MÁXIMOS EN LA CALCOMANIA CERO	47
II.11	NIVELES PERMITIDOS PARA OBTENER LA CALCOMANIA UNO	48
II.12	LIMITES PERMISIBLES PARA CONSEGUIR LA CALCOMANIA 2	48
III.1	PARÁMETROS DE CONTROL DE CONTAMINANTES	50
IV.1	ÁREAS SUPERFICIALES DE ALGUNOS SOPORTES	75
IV.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL CATALIZADOR	76
IV.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES POLARES	81
IV.4	CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS	82
IV.5	COMPUESTOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN DE CATALIZADORES	86
IV.6	ACEROS UTILIZADOS COMO PROTECTORES	88
V.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE REPUESTOS	94
V.2	VALORES LIMITE PARA EL CICLO DE PRUEBAS 75	94
V.3	FABRICANTES DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS	96
V.4	DISTRIBUIDORES DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS	96
V.5	IMPORTADORES DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS	97
V.6	REGULACIONES DE LA EPA Y CARB	98
VI.1	EVALUACIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EMPLEANDO DOS SISTEMAS DE ESCAPE EN UN VEHÍCULO VW SEDAN	107
VI.2	EFICIENCIAS DE LOS CONVERTIDORES CERTIFICADOS POR PIREC	109-110
VI.3	CONVERTIDORES DE LA MARCA CLAUMER	112

CAPITULO I MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los graves problemas que enfrenta México es la contaminación atmosférica, causada por fuentes fijas, móviles y naturales, por ejemplo: los auto-transportes, procesos industriales, producción de energía eléctrica, incineración de desechos sólidos, calefacción doméstica, tolvaneras y exhalaciones volcánicas.

Los medios dedicados al estudio de la contaminación, aceptan al automóvil, la industria, etc., y sus diferentes proporciones, ver tabla I.1

TABLA I.1 RESUMEN ESTADÍSTICO DE LAS FUENTES CONTAMINANTES Y SUS PROPORCIONES							
FUENTES	TOTAL	%	CO	SO	HC	NOx	PARTICULAS
AUTOMÓVILES	86	60	66	1	12	6	1
INDUSTRIAS	23	17	2	9	4	2	6
PLANTAS ELÉCTRICAS	20	14	1	12	1	3	3
OTROS	13	9	2	4	2	2	2
TOTALES	142	100	72	26	19	13	12

(BIBLIOGRAFIA 1)

Para reducirla, se ha implementado: el programa de verificación vehicular, el hoy no circula, los motores ecológicos con sistemas de inyección electrónica y convertidores catalíticos de tres vías, además de gasolina y diesel con un mínimo de azufre y plomo, la utilización de combustibles alternos como el gas L.P., gas natural y la circulación de autos eléctricos.

La contaminación atmosférica esta presente en cualquier ciudad, donde el crecimiento demográfico e industrial son excesivos, tal es el caso del Distrito Federal y el área Metropolitana, sumando la cantidad de autos y camiones que diario circulan.⁽²⁾

1.2 HISTORIA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

La energía es suministrada al motor de combustión interna por medio de la oxidación de un combustible dentro de sus cilindros.⁽³⁾

El motor de combustión interna es relativamente nuevo, sus primeros prototipos se basaron en el uso de la pólvora, desarrollados por Barsanti y Matteucci en 1857.

En 1860 Lenoir construyó un motor sin propulsión, que aspiraba una carga de gas y aire a la presión atmosférica durante media carrera del pistón, en cuyo momento se quemaba la mezcla elevando la presión que proporcionaba la fuerza motriz para terminar el ciclo.⁽³⁾

En 1862 Beau de Rochas, estableció la teoría y estipuló las condiciones para conseguir un motor de alto rendimiento.⁽³⁾ Fue hasta 1876 que Nicholas A. Otto lo consiguió desarrollando un motor que le llamó motor de Otto silencioso, en donde el combustible era comprimido antes de inflamarse.⁽⁴⁾ Sir Dugald Clerk esquivó las patentes de Otto y en 1881 inventó y exhibió el motor de dos carreras.⁽³⁾

Aunque estos motores no sobrepasaban de las 200 rpm (revoluciones por minuto), fueron los precursores de motores con dos cilindros en V, contruidos por Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach que alcanzaban las 900 rpm, gracias a un carburador y un sistema de encendido de combustible por medio de un tubo de platino caliente, que se introducía en la parte superior del cilindro y que se mantenía al rojo vivo colocando un mechero en el otro extremo.⁽⁴⁾

Históricamente Carl Benz se ha considerado el padre del automóvil, ya que en 1885 dejó atrás todo lo inventado por Daimler, al instalar un sistema de encendido eléctrico por bujías a un motor mono cilindro de $\frac{3}{4}$ de caballo con refrigeración por agua.⁽⁴⁾

Los ciclos de combustión interna con embolo reciprocante que analizaremos serán: el Otto, el Diesel y el de dos tiempos, continuando con el motor de cuatro tiempos con encendido por chispa.

I.2.1 CICLO OTTO

El ciclo Otto es el prototipo ideal de la mayoría de los pequeños motores de combustión interna de cuatro carreras, en donde el proceso de combustión tiene lugar instantáneamente en el punto muerto superior (p.m.s) de la carrera de compresión, con el fin de producir una combustión a volumen constante. Observamos en la figura I.1 que la carrera de aspiración (a-1), y de expulsión (1-a) en el diagrama Pv, se anulan entre sí:⁽³⁾

- a-1: Aspiración de la mezcla (carrera de admisión).
- 1-2: Proceso de compresión a entropía constante (carrera de compresión).
- 2-3: Calentamiento instantáneo de la sustancia a volumen constante (combustión).
- 3-4: Expansión, idealmente isentrópica (potencia).
- 4-1: Pérdida instantánea del calor a volumen cte. (válvula de expulsión abierta).
- 1-a: Expulsión de la mezcla (carrera de expulsión).

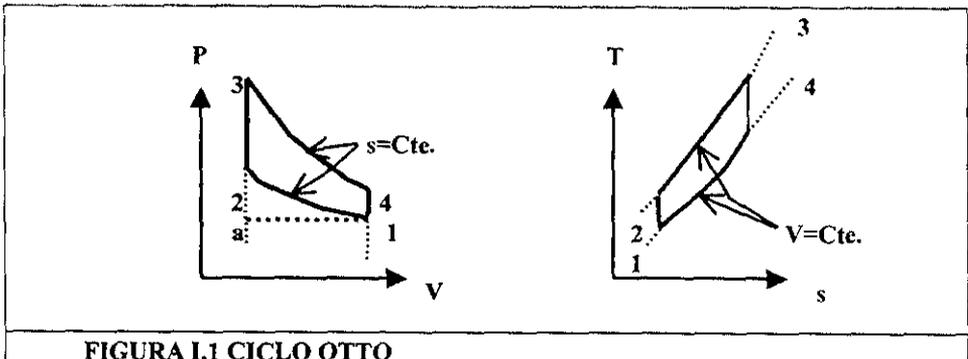


FIGURA 1.1 CICLO OTTO

(BIBLIOGRAFIA 5)

1.2.2 CICLO DIESEL

Rudolf Diesel se interesó principalmente en diseñar un motor de combustión interna que funcionará con carbón como combustible. El resultado final, un motor de cuatro ciclos en que sólo se inducía aire al cilindro en la carrera de aspiración, y al final de la carrera de compresión se inyectaba un combustible líquido a tal intensidad que la combustión prosiguiera a presión constante, ver figura 1.2, por lo demás trabaja igual que un ciclo Otto. En 1893 obtuvo una patente sobre este tipo de motor que ahora lleva su nombre.⁽³⁾

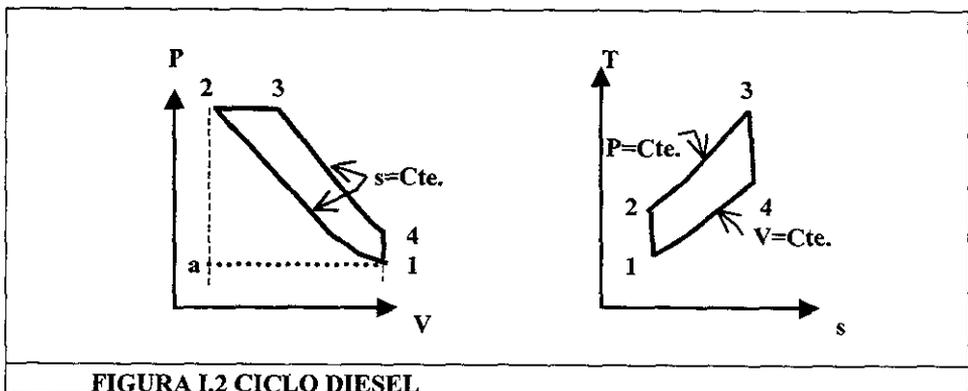


FIGURA 1.2 CICLO DIESEL

(BIBLIOGRAFIA 5)

1.2.3 CICLO DE DOS TIEMPOS

Este tipo de motor realiza la aspiración del aire/combustible por lumbreras, la explosión se realiza por compresión igual que el ciclo diesel. Al finalizar la expansión, cuando al cigüeñal le faltan de 40 a 50 grados para llegar al punto muerto inferior (p.m.i) y

la presión en el cilindro es de 5 a 3 kg/cm² se abre la lumbrera de escape comenzado a salir el gas de combustión a gran velocidad, decreciendo bruscamente la presión en el cilindro. En ese instante que se abre la lumbrera de admisión y se introduce la mezcla de aire/combustible que empuja el sobrante de la combustión obligándolos a salir por las lumbreras de escape⁽⁶⁾. En la figura I.3 podemos analizar este tipo de ciclo.

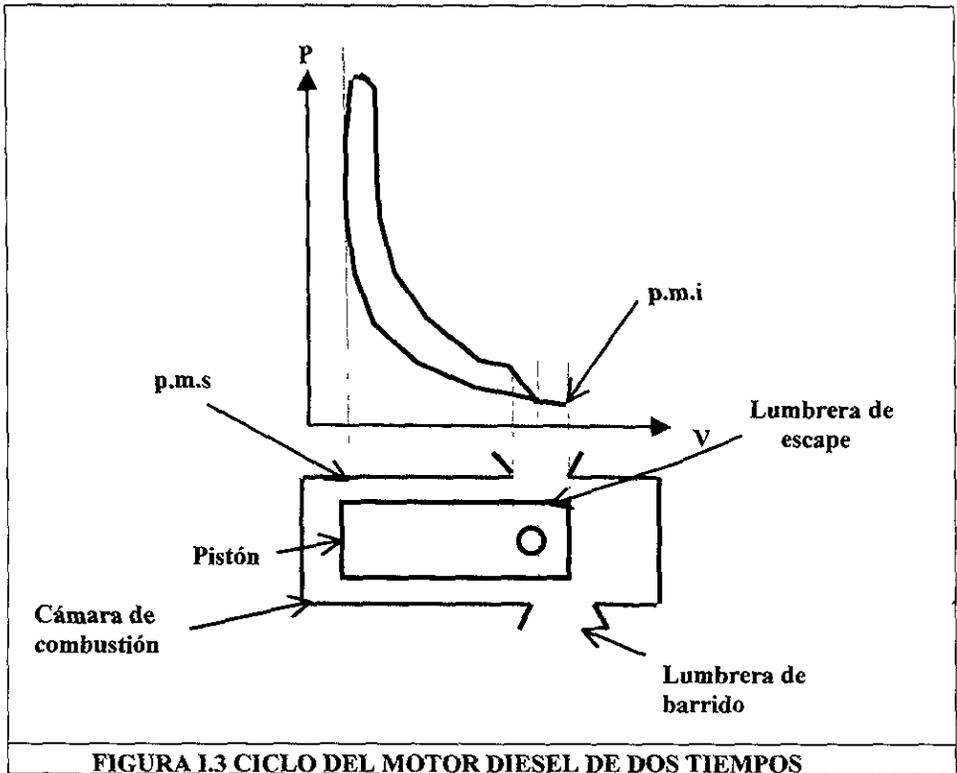


FIGURA I.3 CICLO DEL MOTOR DIESEL DE DOS TIEMPOS

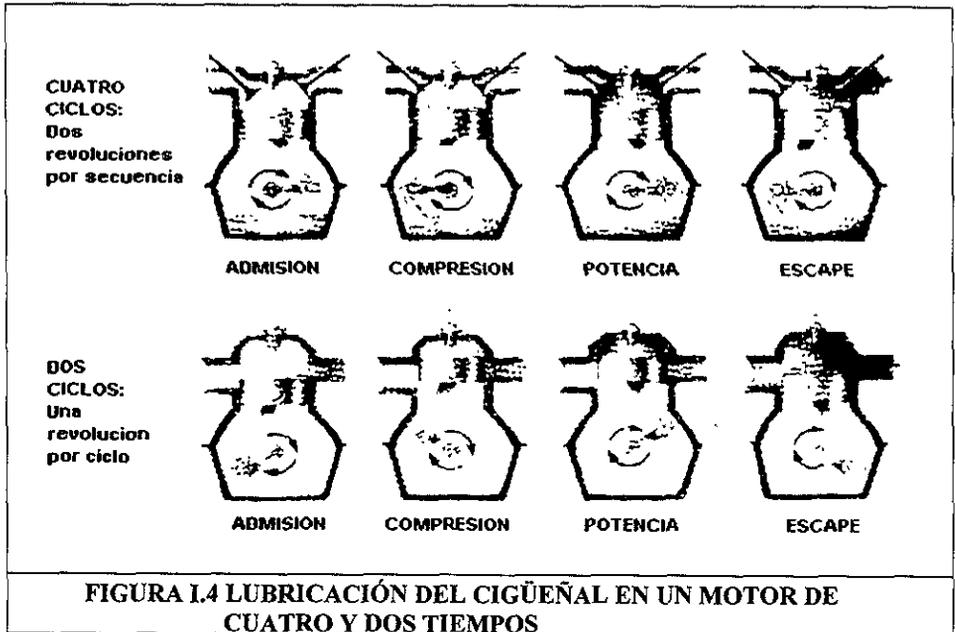
(BIBLIOGRAFIA 6)

La gran diferencia entre los motores de cuatro y dos ciclos es la forma de lubricación del cigüeñal, en este ultimo se adiciona aceite a la mezcla aire/combustible, permitiéndole entrar en la cámara del carter, los esquemas de lubricación se pueden ver en la figura I.4.

El grave problema del motor de dos carreras, se origina cuando ambas lumbreras permanecen abiertas, permitiendo que el aire/combustible con el aceite sean descargados a la atmósfera.

Los fabricantes han enfrentado estos problemas y a las regulaciones ambientales,

instalando sistemas de encendido por bujía y de inyección de combustible. Una vez que la lumbrera de escape esta cerrada en la carrera de compresión se inyecta la gasolina y se produce la chispa.⁽⁷⁾



(BIBLIOGRAFIA 7)

I.3 MOTORES DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA

En esta sección analizaremos el ciclo real de los motores de cuatro tiempos a gasolina (admisión, compresión, explosión y expulsión), además de las funciones de las válvulas, el encendido de la mezcla y las propiedades de la explosión.

I.3.1 ADMISIÓN

En esta carrera la válvula de admisión permite que la mezcla aire/combustible ingrese al cilindro cuando el pistón se desplaza del punto muerto superior al inferior.

La cantidad máxima de mezcla que puede entrar al cilindro se obtiene cuando el embolo se mueve despacio, en ausencia de gases residuales y la temperatura corresponda a la atmosférica. Esta carga es suministrada por el sistema de admisión, integrada por la válvula de obturación (mariposa), los inyectores y el modulo de control del motor ECM

(Engine Control Module).

En esta carrera no se desarrolla ninguna presión, por lo que no se produce energía.⁽⁸⁾ En la figura I.5 hay un diagrama PV de este ciclo, es evidente la diferencia con el ideal.

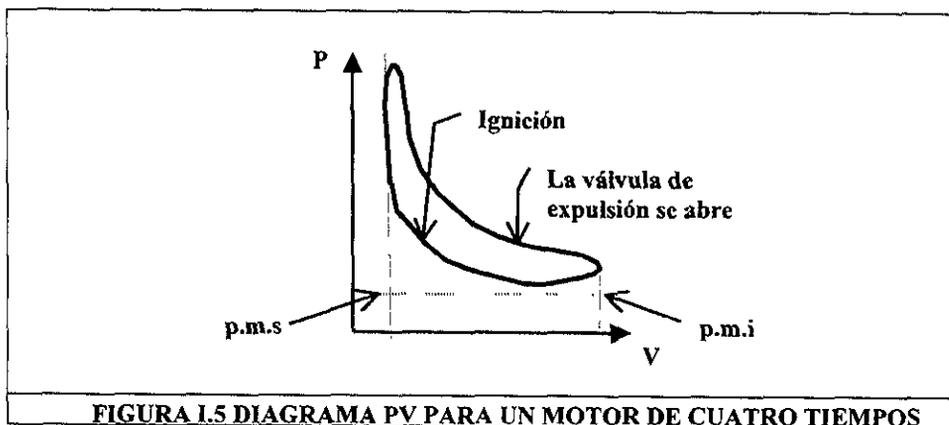


FIGURA I.5 DIAGRAMA PV PARA UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

(BIBLIOGRAFÍA 5)

I.3.2 COMPRESIÓN

En la carrera de compresión la carga combustible introducida anteriormente se comprime desde la presión atmosférica hasta alrededor de 9 kg/cm^2 en un motor normal.

Es necesario comprimir el combustible para poder obtener potencia de la expansión y mientras más alta sea la compresión mayor energía se producirá. Una mezcla de aire/gasolina inflamada a la presión atmosférica produce muy poca energía.⁽⁸⁾

I.3.3 EXPANSIÓN

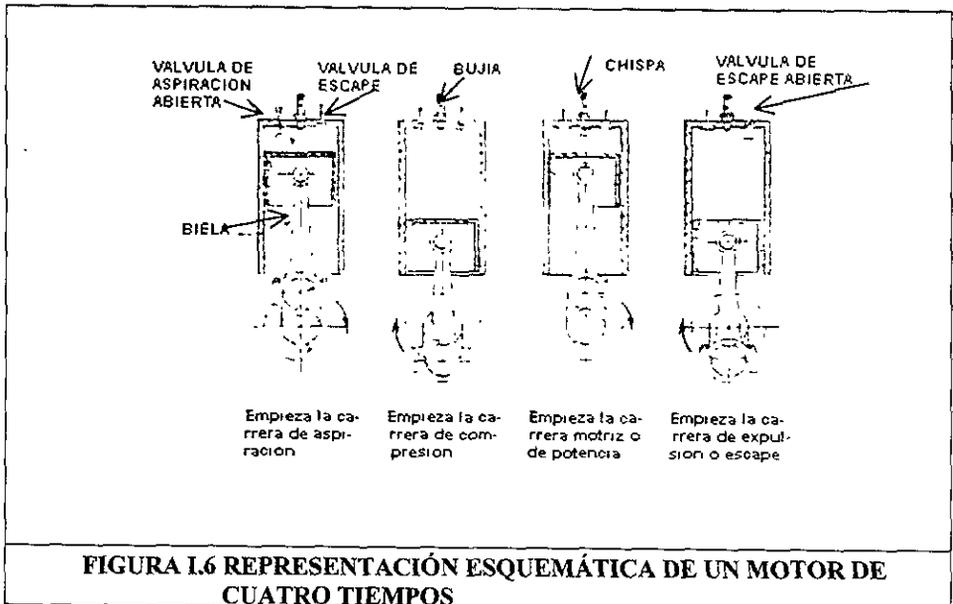
Comprimida la mezcla, se inflama con una chispa eléctrica producida por una bujía. La explosión eleva la presión dentro del cilindro de 45 a 54 kg/cm^2 , suministrando potencia al pistón haciendo que gire el cigüeñal, al acercarse el embolo al p.m.i. se abre la válvula de escape permitiendo la salida de los gases. A esta carrera también se le conoce como activa o motriz.⁽⁸⁾

1.3.4 ESCAPE

Una vez quemada la carga combustible y al comenzar a subir el pistón los gases son forzados fuera del cilindro a través del sistema de escape, pero en el espacio muerto superior se queda una pequeña porción de estos.⁽⁸⁾ En la figura 1.6 hay un esquema resumido de los cuatro tiempos en un motor a gasolina.

1.3.5 ACCIÓN DE LAS VÁLVULAS

Los motores de cuatro tiempos emplean válvulas de admisión y de escape que sirven para abrir y cerrar los orificios que controlan el flujo del gas.



(BIBLIOGRAFÍA 3)

La válvula de admisión controla las cargas de aire combustible que entran al cilindro. Se abre cuando faltan de 3 a 20° del giro del cigüeñal para llegar al p.m.s. de la carrera de escape, permanece abierta en todo el tiempo de admisión y se cierra de 30 a 70° en el proceso de compresión. Este retardo en la apertura de la válvula, permite que se precipiten dentro del cilindro aire y combustible adicionales aprovechando las fuerzas inerciales. Este periodo se extiende de 213 a 270°, según el tipo de motor.⁽⁶⁾

La válvula de escape controla la expulsión de gases quemados, abriéndose cuando el cigüeñal esta de 45 a 70° del p.m.i. en la carrera de explosión, permanece abierta los 180° de la expulsión y se cierra de 2 a 25° después del p.m.s. en la admisión, el periodo completo de apertura en esta válvula es de 227 a 275° .⁽⁶⁾

Según lo anterior las válvulas quedan abiertas al mismo tiempo (traslapadas) hasta 45° , en la figura I.7 se muestra un diagrama de la regulación de las válvulas.

I.3.6 ENCENDIDO DE LA MEZCLA

Para asegurarse que un motor marche uniformemente, con el fin de obtener potencia máxima, debe encender la mezcla aire/gasolina en el momento preciso. Es necesario que un motor multicilíndrico tenga todos los cilindros sincronizados para encender la carga en el mismo punto predeterminado y producir igual potencia en cada uno de ellos.

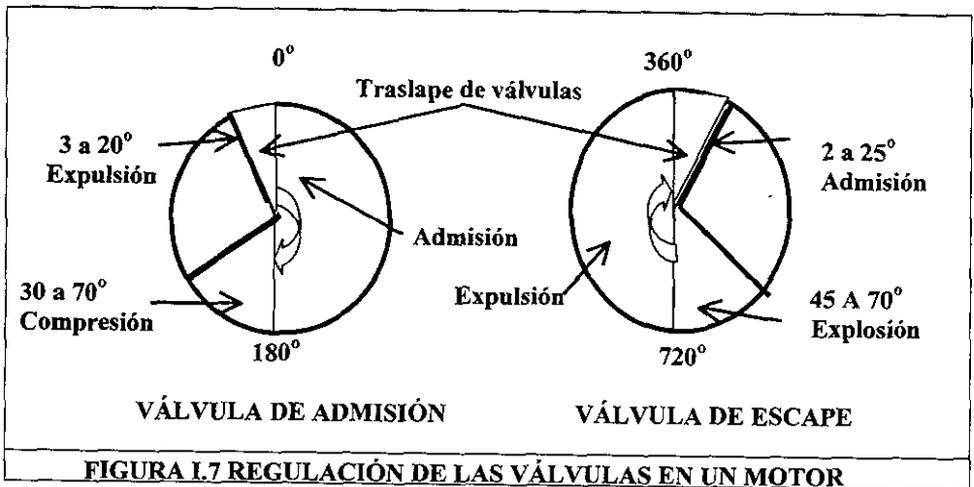


FIGURA I.7 REGULACIÓN DE LAS VÁLVULAS EN UN MOTOR

Si la mezcla ardiera instantáneamente, podría ser encendida cuando el pistón está en el p.m.s. de la carrera de compresión, sin embargo, esta se lleva tiempo dependiendo del grado de compresión y del tipo de combustible empleado.

Un motor típico requiere un avance de chispa máximo de 40° , esto significa que la mezcla debe de encenderse 40 grados antes de que el cilindro llegue al p.m.s. en la compresión, teóricamente se adelantaría 10 grados cada 900 rpm.⁽⁸⁾ En la figura I.8 tenemos diferentes diagramas PV para diferentes grados de avance en el encendido.

Los sistemas de encendido modernos que se tratará mas adelante son métodos eficientes para asegurar la puesta a tiempo de la chispa, todos disponen de algún medio para regular la chispa en relación con el desplazamiento de los pistones.

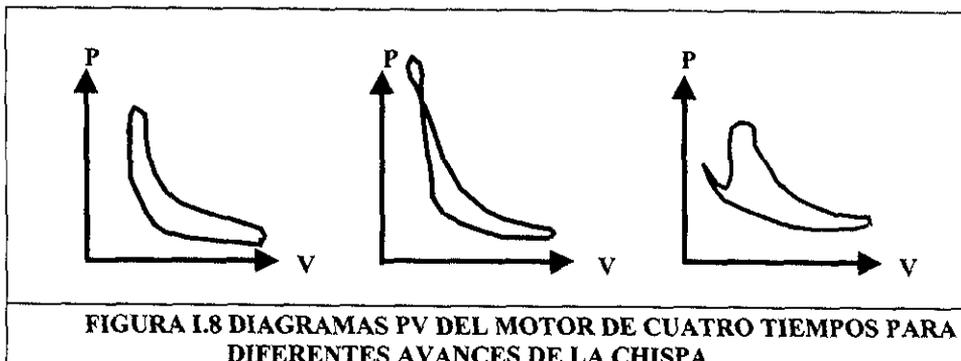


FIGURA I.8 DIAGRAMAS PV DEL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS PARA DIFERENTES AVANCES DE LA CHISPA

(BIBLIOGRAFIA 8)

La primera grafica se obtuvo estableciendo un ángulo óptimo de avance de encendido, haciendo saltar la chispa oportunamente se consiguió que la combustión transcurriera cerca del p.m.s., en cuyo caso se consigue la mayor potencia y economía.⁽⁸⁾

En la segunda, la chispa tuvo un avance demasiado grande, causando disminución de la potencia y del rendimiento económico. El establecimiento de este avance puede provocar una combustión anormal detonante que veremos mas adelante.⁽⁸⁾

La ultima grafica el ángulo de avance fue muy pequeño, el proceso de combustión se efectúo durante la carrera de expansión, perdiendo potencia, e incrementando la temperatura de los gases de escape y del el motor.⁽⁸⁾

I.3.7 CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOSIÓN

La explosión es la combustión de una cantidad determinada de combustible mezclada con el aire producida en milésimas de segundo, las elevadas temperaturas dilatan los gases creando una onda de expansión. Cuando la propagación de este frente de flama es superior a la velocidad del sonido (340 m/s) el fenómeno se denomina deflagración ó detonación.

La deflagración audible a bajas revoluciones en un motor se denomina picado. Un diseño de la cámara con aristas vivas, el utilizar gasolinas con numero de octano inadecuado, la posición de la bujía ó las protuberancias pueden motivar detonaciones.

La figura 1.9 se muestra la detonación de la última porción de la mezcla aire/combustible, produciendo el choque de flamas.

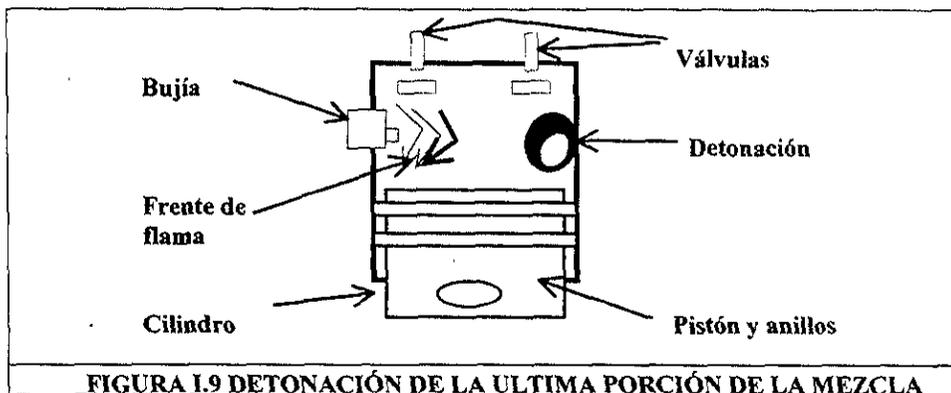


FIGURA 1.9 DETONACIÓN DE LA ÚLTIMA PORCIÓN DE LA MEZCLA

(BIBLIOGRAFÍA 8)

La elevada velocidad de la flama llega a recorrer varias veces la cámara de combustión, el violento movimiento produce la vibración de las masas de gases que actúa sobre la cabeza del pistón haciendo que estos últimos se rompa (rajen). Además, que sean aplastados los cojinetes antifricción montados en la biela y en la bancada del cigüeñal, que se desgasten las paredes de los cilindros, se sobrecaliente el motor, y se pierda potencia.

Se pueden prevenir las detonaciones, evitando las aristas vivas dentro del cilindro que dificulten la eliminación de calor, atrasando la chispa de encendido, empleando mezclas ricas, quitando los depósitos de carbón que puedan producir puntos incandescentes y utilizando gasolina con alto número de octano (NO) el cual veremos más adelante.

1.4 ESTEQUIOMETRIA EN EL CICLO OTTO.

En un automóvil con motor a gasolina, los principales puntos de emisión de contaminantes son:

1. Sistema de combustible (emisiones evaporativas).
2. Motor (emisiones de escape).

Siendo el segundo el que origina la mayor cantidad de contaminantes, ya que en él se efectúa la combustión.

Idealmente un motor recibe una mezcla de aire/combustible estequiométrica, que en su oxidación produce dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O). Dado que la

combustión es incompleta, se generan otros productos como en monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx), que analizaremos en el capítulo II.

Como se dijo anteriormente el motor a gasolina es una maquina de combustión interna que desarrolla potencia quemando combustible adentro de sus cilindros, las máximas presiones generadas en la explosión son 45 a 54 kg/cm², y las temperaturas en un intervalo de 2200 a 2500°C. La presión de salida de los gases es un poco mayor a la atmosférica y su temperatura es de 500 a 850°C.⁽⁹⁾

I.4.1 MEZCLA ESTEQUIOMETRICA

Para producir la explosión de la gasolina en la cámara de combustión, su proporción con el aire debe estar de acuerdo de las prestaciones exigidas al motor, estas mezclas pueden ser estequiometricas, ricas ó pobres.

Una consideración básica en el análisis del proceso de combustión es la reacción teórica ó estequiometrica para un combustible dado, por definición ocurre una oxidación ideal cuando la reacción es completa y en los productos no hay oxígeno excedente.⁽⁵⁾

Del aire se obtiene el oxígeno, el nitrógeno y otros elementos que entran en el proceso de combustión. Sus proporciones en volumen y peso se pueden observar en la tabla I.2

TABLA I.2 PORCENTAJES EN VOLUMEN Y PESO DE LOS ELEMENTOS QUE CONTIENE EL AIRE			
ELEMENTO	SÍMBOLO	VOLUMEN %	PESO %
NITRÓGENO	N ₂	78.095	75.527
OXIGENO	O ₂	20.939	23.140
ARGÓN	Ar	0.933	1.284
DIÓXIDO DE CARBONO	CO ₂	0.031	0.047

(BIBLIOGRAFIA 10)

Si evaluamos químicamente la reacción de un combustible que represente en su composición media la mezcla de hidrocarburos que forman las gasolinas como el nonano (C₉H₂₀), obtendremos la proporción de la mezcla estequiometrica:



Desarrollando la ecuación química anterior tendremos:



En esta ecuación con sus términos cuantificados, nos indica que una molécula de nonano necesita para reaccionar, 14 moléculas de oxígeno biatómico, resultando 9 moléculas de anhídrido carbónico (CO_2) y 10 de vapor de agua (H_2O). En este balance no se consideraron a las moléculas de nitrógeno que si bien son aspiradas junto con las de oxígeno, no intervienen en una combustión ideal.⁽¹¹⁾

1.4.2 PROPORCIÓN EN PESO DE LA MEZCLA IDEAL

Para calcular la proporción en peso de los componentes de la reacción química anterior, debemos encontrar el peso molecular de cada componente.

Los pesos atómicos de los elementos que intervienen reacción son:

Carbono	C = 12
Oxígeno	O = 16
Hidrógeno	H = 1

Si nos atendemos a los coeficientes de cada molécula en la ecuación cuantificada deducimos:

$$\text{C}_9\text{H}_{20} = 12(9) + 1(20) = 128 \text{ kg}$$

$$14 \text{O}_2 = 14(16)2 = 448 \text{ kg}$$

$$9 \text{CO}_2 = 9(12) + 9(16)2 = 396 \text{ kg}$$

$$10 \text{H}_2\text{O} = 10(1)2 + 10(16) = 180 \text{ kg}$$

Por cada 128 kg de nonano, necesitamos de 448 kg de oxígeno biatómico, además, se obtienen 396 kg de anhídrido carbónico con 180 kg de vapor de agua.

Si dividimos el peso del oxígeno necesario por el peso del combustible sabremos:

$$448 \text{ kg oxígeno} / 128 \text{ kg combustible} = 3.5 \text{ kg}$$

que para quemar 1 kg de combustible es necesario 3.5 kg de oxígeno.

Como el oxígeno es el 23.14% en peso del aire mediante una sencilla relación llegaremos a la siguiente conclusión:

23.14% oxígeno	----	3.5 kg oxígeno
+ 75.52% nitrógeno	----	11.42 kg nitrógeno
100.00% aire	----	15.12 kg de aire

La combustión completa de 1 kg de nonano necesita 15.12 kg de aire, a esta proporción se le denomina mezcla ideal ó estequiometrica (1 : 15.12)⁽¹¹⁾

Cuando las cargas de aire/combustible son demasiado ricas, no se produce la explosión, aunque exista la inflamación de las mezclas situadas en las inmediaciones de la bujía, esto debido a que los gases quemados enturbian la pequeña cantidad de aire aspirado evitando que propague el frente de la flama. Y cuando la mezcla es muy pobre, se extingue la explosión dada la falta de proximidad entre las moléculas del combustible.⁽¹¹⁾

I.4.3 RELACIÓN DE AIRE LAMBDA

La relación de aire-combustible real por el ideal se denota con la letra griega Lambda (λ) y esta dada por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{\text{(AIRE / COMBUSTIBLE) REAL}}{\text{(AIRE / COMBUSTIBLE) IDEAL}}$$

Sabiendo que el combustible toma el valor de la unidad, entonces:

$$\lambda = \text{AIRE (REAL)} / \text{AIRE (IDEAL)}$$

La tabla I.3 muestra los diferentes casos de la relación lambda.

TABLA I.3 DIFERENTES CONDICIONES DE LA RELACIÓN LAMBDA	
RELACIÓN	ESTADO DE LA MEZCLA
$\lambda=1$	LA INDUCCIÓN DE AIRE ES IGUAL AL TEÓRICO REQUERIDO
$\lambda < 1$	AUSENCIA DE AIRE = MEZCLA RICA, INCREMENTO DE POTENCIA ($\lambda = 0.85 - 0.95$)
$\lambda > 1$	EXCESO DE AIRE = MEZCLA POBRE, REDUCCIÓN DE CONSUMO Y POTENCIA ($\lambda = 1.05 - 1.3$)
$\lambda=1.3$	LA MEZCLA ES MUY POBRE. NO SE PRODUCE COMBUSTIÓN Y LOS GASES DE ESCAPE SON MUY CONTAMINANTES.
$\lambda=0.85-0.95$	EI MOTOR PRODUCE SU MÁXIMA POTENCIA CON UN DESCENSO DEL 5 AL 15% DEL AIRE
$\lambda=1.1 - 1.2$	MÁXIMA ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE, CON UN EXCESO MÁXIMO DE 20% DEL AIRE
$\lambda=0.9 - 1.1$	RELACIONES USADAS EN EL MOTOR EN CONDICIONES NORMALES

(BIBLIOGRAFIA 12)

En la figura I.10 se muestra la influencia de la relación lambda en la curva de potencia (P) y en la del consumo de gasolina (be). La mayor potencia se obtiene en una mezcla rica de 0.85 a 0.95 λ , la máxima economía de gasolina de 1.1 a 1.2 y con un λ mayor a 1.2 ó menor de 0.8 la mezcla no enciende.

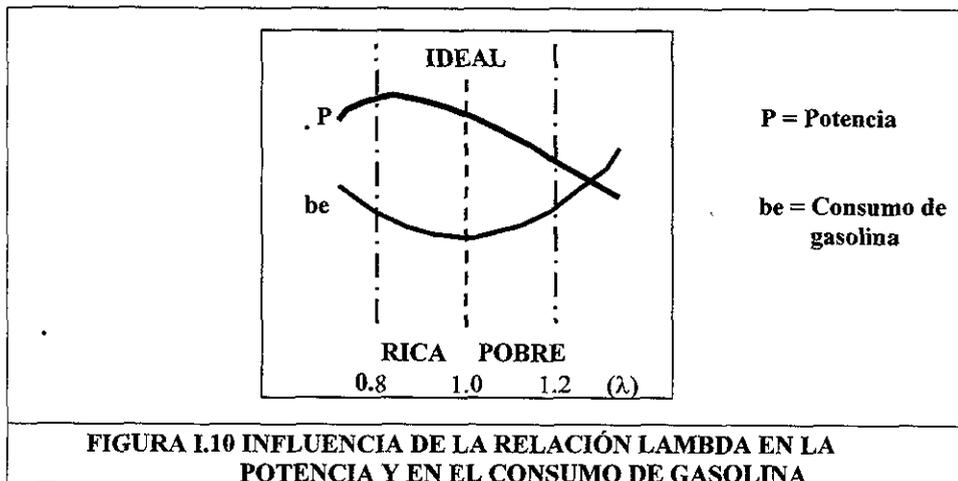


FIGURA I.10 INFLUENCIA DE LA RELACIÓN LAMBDA EN LA POTENCIA Y EN EL CONSUMO DE GASOLINA

(BIBLIOGRAFIA 12)

1.4.4 RAZÓN DE EQUIVALENCIA

Algunas veces se utiliza la razón de equivalencia (ϕ), que es la inversa de la relación lambda: ⁽¹³⁾

$$\phi = \frac{1}{\lambda} = \frac{\text{(COMBUSTIBLE / AIRE) REAL}}{\text{(COMBUSTIBLE / AIRE) IDEAL}}$$

La ecuación anterior se puede sustituir por:

$$\phi = \text{AIRE (IDEAL) / AIRE (REAL)}$$

En la figura I.11 se ilustra la variación de las concentraciones de HC, CO Y NO en un motor, variando la razón de equivalencia.

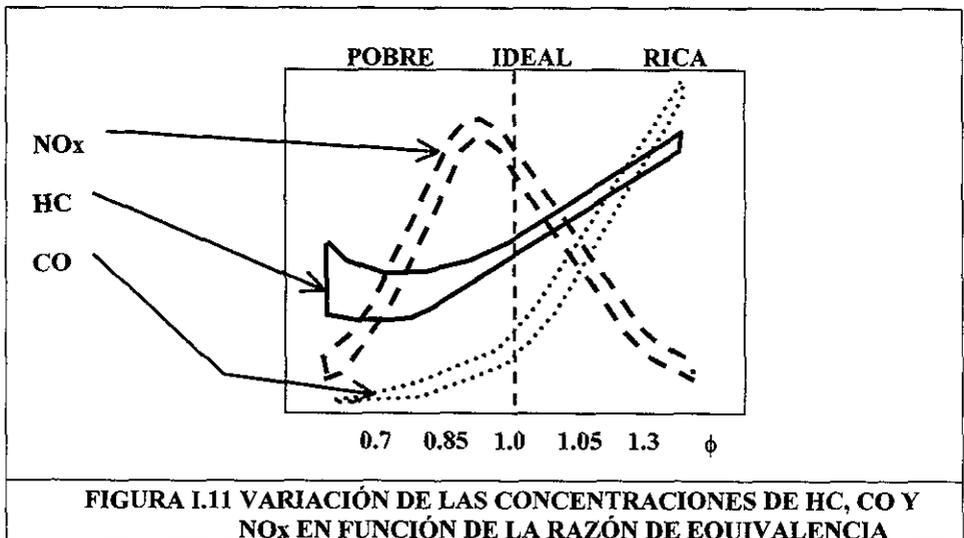


FIGURA I.11 VARIACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE HC, CO Y NO_x EN FUNCIÓN DE LA RAZÓN DE EQUIVALENCIA

(BIBLIOGRAFÍA 14)

1.5 COMBUSTIBLES

Los combustibles utilizados en los motores de encendido por chispa son las

gasolinas y algunos otros llamados alternos, antes de analizar cada uno de ellos, conoceremos las principales características de un combustible.

1.5.1 POTENCIA CALORÍFICA

La potencia calorífica específica (H_u), es una magnitud que mide el contenido energético de los combustibles que producen agua como producto de la combustión, una potencia calorífica baja exige grandes cantidades del carburante en detrimento de la carga, el espacio útil y la autonomía de los medios de transporte. Para todos los combustibles líquidos y gaseosos licuables utilizados la potencia calorífica es casi igual (unos 3700 kJ/m^3).⁽¹⁵⁾

1.5.2 CALOR DE VAPORIZACIÓN

Por medio de la vaporización del combustible, se enfría la mezcla aire/combustible. El descenso de temperatura que tiene lugar en el sistema de inyección, con clima frío y húmedo ($+2$ a $+8^\circ \text{C}$ y humedad de aire $>65\%$), puede provocar la congelación de la mezcla, además, el vapor de agua del aire aspirado se condensa, se hiela e impide el funcionamiento de la válvula de estrangulación. Estos problemas disminuyen utilizando aditivos, que estudiaremos mas adelante.⁽¹⁵⁾

1.5.3 IMPUREZAS

Los combustibles deben estar exentos de impurezas sólidas que se precipiten, y puedan obstruir ó inutilizar las tuberías, bombas, inyectores, etc. Además de estar libres de agua líquida y contener un mínimo de azufre con el fin de evitar la corrosión.⁽¹⁵⁾

1.6 COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA

Las exigencias mínimas que se imponen a las gasolinas son de acuerdo a cada país, entre los principales requerimientos incluyen la densidad, viscosidad, numero de octano.

1.6.1 DENSIDAD

La densidad describe los tipos de combustibles y sus componentes. Una densidad pequeña, eleva el consumo de la gasolina, en cambio los supercarburantes tiene mayor contenido de aromáticos superiores que elevan su densidad.⁽¹⁵⁾

1.6.2 VISCOSIDAD

Otra característica de la gasolina es su viscosidad, que depende de la temperatura y de su composición fraccionada, los combustibles compuestos por las fracciones más pasadas son más viscosos, y aumenta al disminuir la temperatura. Por ejemplo si la temperatura de la gasolina varía desde +20 hasta -20° C su viscosidad aumenta al doble, mientras que los combustibles para motores Diesel aumentan de 5 a 10 veces.⁽⁶⁾

1.6.3 NUMERO DE OCTANO

Cuando una gasolina es propensa a provocar deflagraciones se le llama detonante, por este motivo, una característica es su número de octano (NO), que especifica su resistencia al picado. Cuanto mayor el número de octano más antidetonante es.⁽¹¹⁾

El NO depende de la mayor ó menor cantidad de isoparafinas que tiene un combustible, y se determina mediante ensayos de laboratorio, por comparación de un combustible tipo, formado por dos hidrocarburos:

Alifático: hepteno (C₇H₁₆): NO = 0 (muy detonante)

Isoparafina: iso octano (C₈H₁₈): NO = 100 (antidetonante por excelencia)

Una gasolina con 97 octanos significa que tiene un poder antidetonante como el de un combustible formado por el 97% de iso octano y el 3% del heptano.

Cada motor debe utilizar la gasolina que este en concordancia a su relación de compresión, es decir, a mayor compresión le corresponde un mayor NO en la gasolina. Algunos coches están equipados con un selector de octano, que es sencillamente un avance de chispa ajustable.⁽⁸⁾

Se utilizan internacionalmente dos procedimientos diferentes para encontrar en número de octano, el método RON, (Research Octane Number) y el método MON, (Motor Octane Number). Este último se diferencia del método Research por el precalentamiento de la mezcla, el mayor número de revoluciones y los diferentes ajustes del punto de encendido, permitiendo mayor sollicitación térmica al combustible analizado, el índice MON es menor que el RON, pero más indicativos del comportamiento del motor en carretera.⁽¹⁵⁾

El método MON se desarrolla en un motor que tiene la peculiaridad de variar su relación de compresión. Para poder determinar el índice de octano de una gasolina específica por este método, se establece la relación de compresión con la que arde el combustible con indicios de detonación casi imperceptibles, estos datos se comparan con

los resultados obtenidos de la mezcla de isooctano/heptano y se determina con que composición de esta mezcla funciona el motor en iguales condiciones.

Las gasolinas para automóviles tienen los números de octano entre los límites de 66 y 95, pero los combustibles gaseosos se encuentran entre 90 y 110 NO. por eso cuando los motores de automóviles trabajan con gas, su relación de compresión puede aumentar.

1.6.4 VOLATILIDAD

Las gasolinas, deben evitar burbujas de vapor, además de tener buena movilidad en estado frío y en caliente así como un buen comportamiento en los cambios de temperatura, esto con el fin de evitar problemas en el encendido.⁽¹⁵⁾

1.6.5 TRANSCURSO DE LA EBULLICIÓN

Son importantes tres zonas de la curva de ebullición, que se caracterizan por la fracción evaporada a tres temperaturas.

El volumen evaporado a 70° C debe ser alto con el fin de arrancar fácilmente cuando el motor frío, pero no demasiado grande para evitar la formación de burbujas de vapor en el motor caliente.

A una temperatura de 180° C el volumen evaporado no debe ser pequeño para evitar que el aceite lubricante del pistón quede diluido, especialmente con un motor frío.

La fracción de combustible evaporado a 100° C determina la capacidad de aceleración del motor caliente.⁽¹⁵⁾

1.6.6 PRESIÓN DE VAPOR

La presión de vapor es la presión mínima que permite un líquido a cierta temperatura antes de que comience a evaporarse, por lo tanto si mantenemos la presión de un gas por encima de la presión de vapor a una temperatura dada, se produce la condensación completa.⁽⁵⁾

La presión de vapor de la gasolina a 38° C según la norma DIN 51600, esta limitada a 0.687 kg/cm² para los combustibles de verano y 0.883 kg/cm² en los de invierno. Sin embargo, la evolución de la curva de la presión de vapor depende mucho de la composición de la gasolina. Así las curvas de los combustibles que contienen alcoholes son más pendientes que los de mezclas puras de hidrocarburos.

Esto lleva a que tales productos, a temperaturas más elevadas originan problemas de burbujas de vapor.⁽¹⁵⁾

1.6.7 PORCIÓN LIQUIDO-VAPOR

Esta magnitud indica la tendencia de un combustible a la formación de burbujas. A mayores alturas sobre el nivel del mar se incrementa esta tendencia. Esto provoca perturbaciones por burbujas de vapor en los viajes por la montaña. Además, la relación vapor-liquido se eleva por adición de alcoholes, especialmente de metanol.⁽¹⁵⁾

1.6.8 ADITIVOS

La calidad de los combustibles se determina por la adición de aditivos, además de la composición de los hidrocarburos:

1.6.8.1 ELEVACIÓN DE LA ANTIDETONANCIA

La gasolina normal es muy poco antidetonante. Los hidrocarburos con estructura molecular en forma de anillo (aromáticos) y con cadenas ramificadas (isoparafinas) son más resistentes al picado que los de cadena lineal (n-parafinas).

Un grupo de ingenieros de la General Motors paso varios años experimentando con agentes antidetonantes orgánicos, resultando unas sustancias químicas conocidas como TEL (tetraetilo de plomo) y TML (plomo tetrametilo), llamadas comúnmente etilo fluido, las cuales suben el índice de octano según la estructura del hidrocarburo. La Norma DIN 51 600 se permite un máximo de 150 mg Pb/lit, en otros países europeos hasta 400 y 600 mg Pb/lit, basándonos en consideraciones ambientales estos aditivos debe reducirse ó prohibirse.⁽⁸⁾

Las adiciones de compuestos de oxígeno (metanol, etanol, metilbutil éter terciario), actúan positivamente en el índice de octano, pero pueden conducir a otras dificultades ya que elevan la volatilidad.⁽¹⁵⁾

1.6.8.2 PROTECCIÓN CONTRA EL ENVEJECIMIENTO

Para elevar la estabilidad al almacenamiento, se añaden a los combustibles sustancias protectoras contra el envejecimiento, regularmente componentes fenólicos.⁽¹⁵⁾

1.6.8.3 LIMPIEZA DEL SISTEMA DE ADMISIÓN

A menudo se añaden sustancias detergentes que impiden que se depositen en el cárter del cigüeñal y en el escape las impurezas resinosas.⁽¹⁵⁾

1.6.8.4 PROTECCIÓN CONTRA LA CONGELACIÓN

Durante la evaporación del combustible el calor extraído del aire hace que se lleguen a formar cristales de hielo de la humedad de este. Los modernos anticongelantes evitan que estos cristales se fijen en la válvula de estrangulación (mariposa) y causen así problemas en la preparación de la mezcla.⁽¹⁵⁾

TABLA I.4 EXIGENCIAS MÍNIMAS DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS PARA MOTOR OTTO				
ESPECIFICACIONES	SÚPER		NORMAL	
	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
DENSIDAD A 15 ^o C (gr/ml)	0.730 A 0.780		0.715 A 0.765	
RESISTENCIA A LA DETONACIÓN				
MIN. RON	98.0		91.0	
MIN. MON	88.0		82.7	
CONTENIDO DE PLOMO (ALQUILOS), Max gr Pb/l	0.15		0.15	
EVOLUCIÓN A LA EBULLI- CIÓN: CANTIDADES. EVAPORADAS EN TOTAL				
HASTA 70 ^o C VOL-%	15 A 40	20 A 45	15 A 40	20 A 45
HASTA 100 ^o C VOL-%	42 A 65	45 A 70	42 A 65	45 A 70
HASTA 180 ^o C VOL-% MIN	90	90	90	90
PUNTO FIN EBULLI- CIÓN MAX ^o C	215	215	215	215
RESIDUO DE DESTILACIÓN. VOLUMEN -% MAX	2		2	
RESIDUO EN EL VAPOR, mg/100 ml	5		5	
CONTENIDO AZUFRE MAX % PESO	0.10		0.10	
PRESIÓN DE VAPOR (kg/cm ³)	0.44-0.68	0.58-0.88	0.44-0.68	0.58-0.88

(BIBLIOGRAFÍA 15)

I.6.8.5 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

El arrastre de agua puede provocar corrosión en el sistema de combustible. Por medio de la incorporación de aditivos protectores contra la corrosión desplazan la película de agua. En la tabla I.4 hay algunas propiedades que deben de tener las gasolinas según las normas DIN 51 600 de 1985.

I.6.9 GASOLINA SIN PLOMO

A causa de la introducción de convertidores catalíticos para el tratamiento de los gases del escape, fue necesario la utilización de gasolina sin plomo. Los catalizadores más activos para este propósito tienen metales nobles, como el platino, rodio, etc., que se inactivan con el plomo.

Eliminando los alquilos de plomo se obtienen combustibles con bajos índices de octanajes, que no sirven para los motores modernos de alto grado de compresión. Por ello son precisas mezclas con combustibles de alto índice de octano y exentos de plomo. Principalmente se añaden platformings, alquilatos, e isomerizados de alta proporción de aromáticos e isoparafinas. Como aditivo no metálico para elevar el poder antidetonante se puede añadir MTEB (metil-butil-eter) con buenos resultados, en concentraciones de 3 al 15% así como mezclas de alcoholes (metanol 2 a 3 % alcoholes superiores).

Los índices de octano de los combustibles sin plomo deben ser para la gasolina súper >86 (MON) ó >96 (RON) y para la Normal >82.5 (MON) ó >91 (RON), el contenido de plomo se limita a un máximo de 10 mg/l.⁽¹⁵⁾

I.6.10 GASOLINAS MEXICANAS

Afortunadamente las gasolinas mexicanas compiten con las normas internacionales, en donde el contenido de plomo se ha reducido a 0.15 g/l, y los niveles de azufre son muy bajos. Las especificaciones de las gasolinas Magna-Sin y la desaparecida Nova se pueden observar en la tabla I.5

Es necesaria la implantación de combustibles alternativos en los motores de combustión interna, tal es el caso de:

I.6.11 GAS LICUADO DE PETRÓLEO

Gas L.P. ó gas licuado de petróleo se designa al Butano (C_4H_{10}), al Propano (C_3H_8) y a cualquiera mezcla de los dos (normalmente la proporción es de 61% butano y 39% propano). Estos gases son obtenidos del gas natural en una de las fases del proceso de

obtención de la gasolina.

El gas L.P. es incoloro e inodoro, el punto de ebullición del propano es de -42.1°C y del butano de -0.5°C , se licua a 20.66 kg/cm^2 y se caracteriza por su alto número de octano (RON > 100). En los motores de combustión interna reduce los gastos de reparación que se originan por el carbón y azufre que se acumula en el motor, su pureza comparada con otros combustibles permite una combustión libre de olor y con un mínimo de corrosión. Como se quema en los cilindros en estado gaseoso, no diluye el aceite lubricante del pistón, bien carburado es muy seguro.⁽²⁾

TABLA I.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS GASOLINAS MEXICANAS		
PROPIEDAD	NOVA	MAGNA SIN
PRESIÓN DE VAPOR (kg/cm^2)	0.569	0.456 A 0.597
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN $^{\circ}\text{C}$		
10% DESTILA A	52	65
50% DESTILA A	89	77 A 118
90% DESTILA A	169	190
TEMPERATURA FINAL DE EBULLICIÓN	217	221
AZUFRE % EN PESO	0.07	0.1
PLOMO kg/m^3 , MAX	0.03	0.0026
NO (RON), MIN	82.7	87
NO CARRETERO (ROM + MON)/2	22.4	30
AROMÁTICOS % EN VOL MAX	8.5	15
OLEFINAS % VOL MAX	1.2	2
BENCENO % VOL MAX	0.78	1 A 2

(BIBLIOGRAFIA 16)

I.6.12 ALCOHOL

Como combustible alternativo para los motores Otto se han aplicado algunos alcoholes, como el metanol, y etanol, así como productos derivados de los mismos (por ejemplo el éter). El metanol puede obtenerse a partir de materias primas existentes ricas en carbono tales como carbón, gas natural, aceites pesados, etc. El etanol, en algunos países (como Brasil) se obtiene a partir de biomasa.

Las mezclas de combustible con una pequeña parte en volumen de metanol son corrientes en el mercado; los combustibles con un contenido superior (15 a 95 %) se están ensayando en pruebas a gran escala. Desafortunadamente generan problemas concretos que todavía no están resueltos en su totalidad, el comportamiento frente la humedad, la tolerancia del material, la potencia calorífica, y otras propiedades distintas a los

combustibles tradicionales hacen que sean necesarios algunos cambios específicos en los vehículos.⁽¹⁵⁾

1.6.13 GAS NATURAL

Últimamente se ha utilizado el gas natural como combustible en los motores de combustión interna.

El gas natural es un combustible compuesto por hidrocarburos parafínicos. Se produce directamente en los campos de gas como subproducto de la destilación del aceite, está principalmente compuesto de hidrocarburos ligeros como el metano y el etano, y en una proporción menor por otros hidrocarburos llamados líquidos de gas natural, entre los que incluye el propano, butano, pentano, hexano y heptano. La desventaja que tiene un gas natural es que el metano hierve a bajísimas temperaturas (-161°C), si se le guarda en un recipiente alcanza muy elevada presión a temperatura ambiente, además, que es muy difícil licuarlo, una vez licuado se necesitan recipientes de paredes muy gruesas para que tuvieran la resistencia necesaria, representando altos costos.⁽²⁾

CAPITULO II PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN DE LAS GASOLINAS

II.1 INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna producen gases contaminantes dañinos a la atmósfera. Estos vapores se originan por diferentes causas, que veremos mas adelante.

Un automóvil en funcionamiento al nivel del mar, con una velocidad de 40 km/hr, por cada 1000 litros de gasolina consumidos emite en promedio 276 kg de monóxido de carbono (CO), 13 kg de dióxido de nitrógeno (NO₂), y 1.08 kg de dióxido de azufre (SO₂).⁽¹⁾

II.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GASES CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LA COMBUSTIÓN DE LAS GASOLINAS

Los gases contaminantes se clasifican en 4 grupos:

1. Gases *producidos por la combustión completa*
2. Contaminantes elaborados en la combustión incompleta
3. Subproductos de la combustión
4. Productos oxidantes

En la siguientes sección se analizara cada uno de estos grupos con sus respectivas subdivisiones contenidas en la tabla II.1

II.2.1 GASES DE LA COMBUSTIÓN COMPLETA

Vimos anteriormente que la combustión ideal de la gasolina, solo genera agua y dióxido de carbono.

II.2.1.1 DIÓXIDO DE CARBONO

La utilización de combustibles fósiles se traduce en miles de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), solo una tonelada de carbón genera cuatro de CO₂, la respiración animal y vegetal también producen este gas. La atmósfera contiene 3.5 partes de este gas por cada 10 000 en lugares alejados de las ciudades, mientras que en una habitación contiene alrededor de 1 por 100.

TABLA II.1 CLASIFICACIÓN DE LOS GASES CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LA COMBUSTIÓN DE LAS GASOLINAS	
TIPO DE COMBUSTIÓN	GASES
a) COMBUSTIÓN COMPLETA	DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) AGUA (H ₂ O)
b) COMBUSTIÓN INCOMPLETA	HIDROCARBUROS NO QUEMADOS (C_nH_m): PARAFINAS OLEFINAS AROMÁTICOS
	HIDROCARBUROS PARCIALMENTE QUEMADOS: ALDEHIDOS (C _n H _m -CHO) CETONAS (C _n H _m -CO) ÁCIDOS CARBOXÍLICOS (C _n H _m -COOH) MONÓXIDO DE CARBONO (CO)
	PRODUCTOS DE LA DESINTEGRACIÓN: ACETILENO (C ₂ H ₂) ETILENO (C ₂ H ₄) HIDRÓGENO (H ₂) HIDROCARBUROS POLI CÍCLICOS
c) SUBPRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN	DEL NITRÓGENO DEL AIRE: (NO, NO ₂)
	DE LOS ADITIVOS DEL COMBUSTIBLE: ÓXIDOS DE PLOMO HALUROS DE PLOMO
	DE LAS IMPUREZAS DEL COMBUSTIBLE: DIÓXIDO DE AZUFRE
d) OXIDANTES	POR LA ACCIÓN SOLAR: PERÓXIDOS ORGÁNICOS OZONO NITRATOS DE PEROXIACILO

(BIBLIOGRAFÍA 15)

El CO₂ es un gas incoloro e inodoro, moderadamente soluble al agua, pero que a presiones elevadas esta aumenta, lo cual se aprovecha para la preparación comercial de bebidas carbónicas. La temperatura critica es 31.1° C, por ello se puede licuar a temperatura ambiente por presión, en forma sólida se conoce como hielo seco el cual se sublima dando un gas denso que proporciona refrigeración. A presión atmosférica su temperatura de fusión es -73° C.⁽¹⁷⁾

No es venenoso en concentraciones normales, pero debido a su poder estimulante en la respiración suele utilizarse en una mezcla 95:5 de aire/dióxido de carbono, no obstante si el aire que se respira contiene mas del 10% de CO₂ se produce la asfixia y sobreviene la muerte.⁽¹⁷⁾

No se considera un contaminante del aire, pero su porción esta aumentando gradualmente afectando la temperatura de la Tierra, debido a su habilidad de absorber los rayos infrarrojos de corta longitud irradiados por el sol.

II.2.1.2 AGUA

El agua (H_2O) sale por el sistema de escape de un automóvil en forma de vapor, es incolora, inodora e insípida, su punto de ebullición a presión atmosférica se alcanza a los $100^\circ C$ al nivel del mar y su solidificación a los $0^\circ C$. La formación de agua por la combustión de gasolina no representa ningún peligro a las plantas y animales.

II.2.2 GASES DE LA COMBUSTIÓN INCOMPLETA

La lista de gases contaminantes producidos por una combustión incompleta es extensa y se divide en: gases producidos por hidrocarburos no quemados, por hidrocarburos parcialmente quemados y los productos de la desintegración.

II.2.2.1 HIDROCARBUROS NO QUEMADOS

La producción de hidrocarburos no quemados en los motores de combustión interna tiene diferentes razones, una es cuando la presión ascendente dentro del cilindro en la carrera de compresión induce pequeños volúmenes de aire/gasolina en la cavidad de los anillos, cuando se inicia la explosión se escapan del frente de flama y en la carrera de expulsión salen a la atmósfera.⁽¹¹⁾

Otra fuente de hidrocarburos no quemados se forma por una capa refrigerante de combustible que se deposita en el aceite que lubrica la pared de la cámara de combustión, cuando se acerca la flama se extingue. Se ha observado que los HC sin quemar de esta delgada superficie que es menor de 0.1mm se oxidan rápidamente cuando las paredes del cilindro no son porosas y el aceite está limpio.⁽¹⁴⁾

La última fuente por mencionar de HC es la combustión incompleta debido al enfriamiento de los gases producidos por la flama a medida que los ciclos de los motores tienen una combustión lenta, estas condiciones ocurren cuando la relación lambda, la explosión de la mezcla y la recirculación de gases de escape no están correctamente ajustados.⁽¹⁴⁾ En la figura II.1 hay un esquema de un cilindro con los principales puntos de formación de HC sin quemar. Los hidrocarburos no quemados se dividen en: parafinas, olefinas y aromáticos.

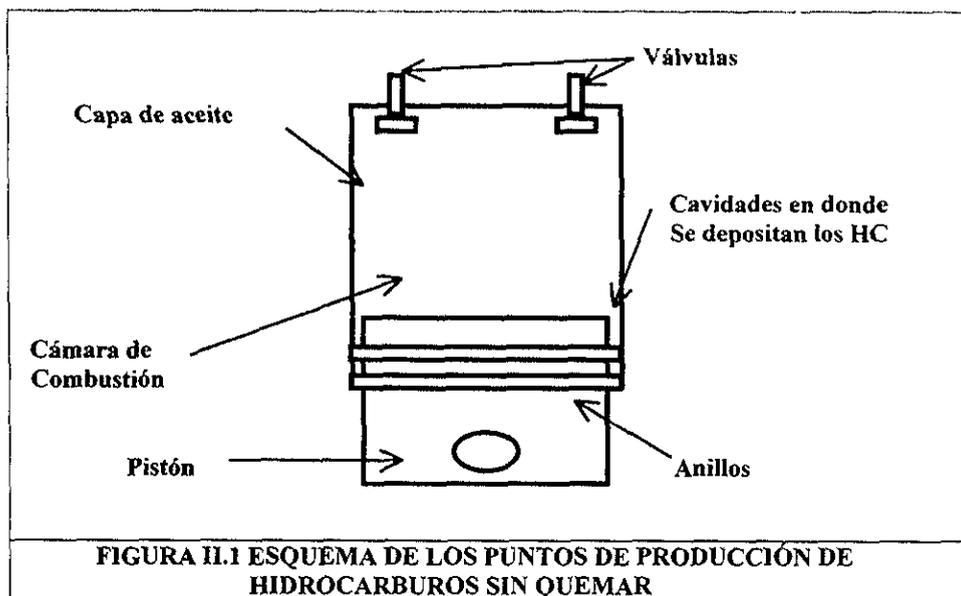
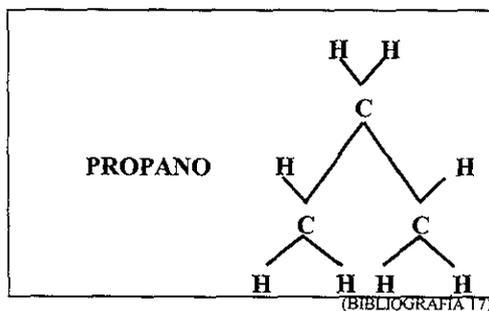


FIGURA II.1 ESQUEMA DE LOS PUNTOS DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS SIN QUEMAR

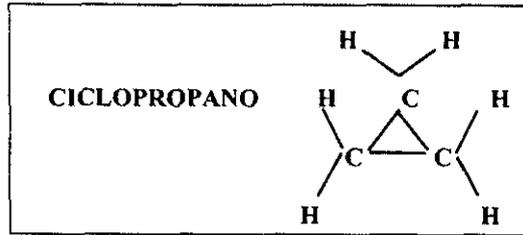
II.2.2.1.1 PARAFINAS

Son compuestos orgánicos sencillos, sus moléculas contiene solamente átomos de carbón e hidrógeno, actualmente se conocen varios centenares.

En las moléculas de hidrocarburos saturados ó parafínicos, los átomos de carbón están enlazados solamente por enlaces sencillos de cadena abierta por ejemplo:



ó formando anillos, como en la cicloparafina siguiente:



(BIBLIOGRAFIA 17)

Las formulas de los hidrocarburos parafinicos de cadenas abiertas responden a la formula general C_nH_{2n+2} , en donde n se sustituye por números enteros, ver la tabla II.2

TABLA II.2 HIDROCARBUROS PARAFÍNICOS Y SUS PROPORCIONES EN LOS GASES DE ESCAPE

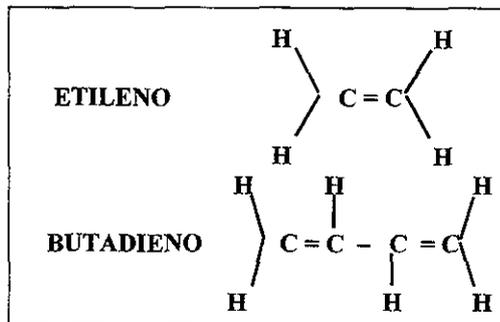
FORMULA	NOMBRE	PUNTO DE EBULLICIÓN (°C)	PUNTO DE FUSIÓN (°C)	CONCENTRACIÓN EN LOS GASES DE ESCAPE.(ppm)*
CH ₄	METANO	-162	-184	147.5
C ₂ H ₆	ETANO	-88	-172	21.4
C ₃ H ₈	PROPANO	-42	-190	2.2
C ₄ H ₁₀	BUTANO	0	-135	---
C ₅ H ₁₂	PENTANO	36	-132	---
C ₆ H ₁₄	HEXANO	69	94	---
C ₇ H ₁₆	HEPTANO	98	-91	---

* ppm = partes por millón

(BIBLIOGRAFIA 9)

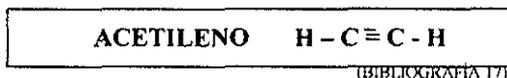
II.2.2.1.2 OLEFINAS

Los hidrocarburos no saturados poseen en sus moléculas uno ó más enlaces dobles y triples uniendo dos átomos de carbono. Las olefinas que poseen en sus moléculas dobles enlaces, presentan las siguientes estructuras:



(BIBLIOGRAFIA 17)

Las moléculas de los hidrocarburos acetilénicos tienen triples enlaces:



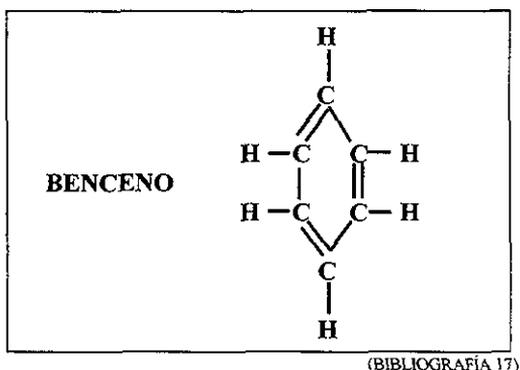
En la tabla II.3 tenemos las concentraciones de las olefinas que están presentes en los gases de escape en un motor.

TABLA II.3 CONCENTRACIÓN DE OLEFINAS EN LOS GASES DE ESCAPE	
NOMBRE	CONCENTRACIÓN (ppm)
ETILENO	160.4
PROPILENO	52.4
ACETILENO	88.0

(BIBLIOGRAFÍA 9)

II.2.2.1.3 AROMÁTICOS

Las moléculas de los hidrocarburos aromáticos poseen uno ó más anillos de seis átomos de carbono, unidos por tres enlaces sencillos y tres dobles, dispuesto alternativamente entre cada dos átomos de carbono del anillo. El benceno es el hidrocarburo aromático más sencillo, tiene la fórmula C_6H_6 , sus reacciones indican que los seis átomos de carbono, están en posiciones equivalentes.⁽¹⁷⁾



En la tabla II.4 se muestran las partes por millón de aromáticos contenidos en los gases de escape.

TABLA II.4 ppm DE LOS AROMÁTICOS	
AROMÁTICO	(ppm)
BENCENO	21.3
TOLUENO	49.3

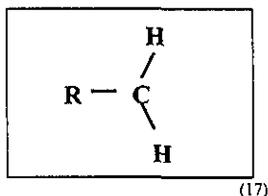
(BIBLIOGRAFÍA 9)

II.2.2.2 HIDROCARBUROS PARCIALMENTE QUEMADOS

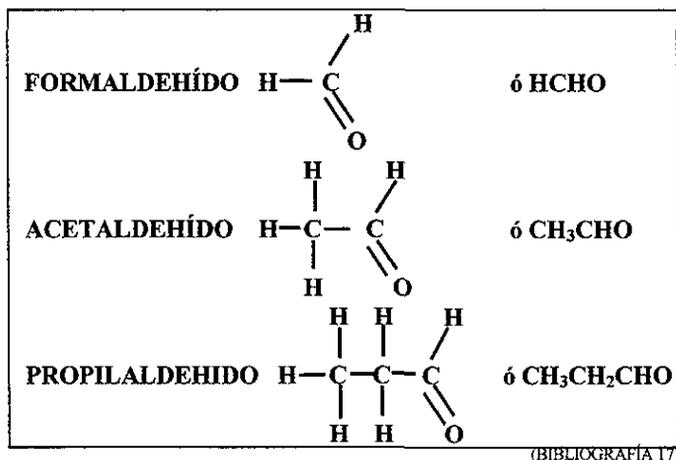
En esta sección conoceremos los hidrocarburos que son parcialmente oxidados, tal es el caso de los aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y el monóxido de carbono.

II.2.2.2.1 ALDEHÍDOS

Estos compuestos tienen la forma general:

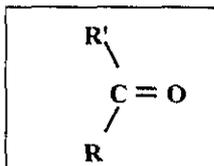


ó sencillamente RCHO, en donde R puede ser un radical orgánico ó hidrogeno. Los nombres y formulas de los tres aldehídos más radicales son:



II.2.2.2.2 CETONAS

Las moléculas de las cetonas tienen la forma general, donde

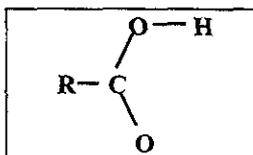


(17)

la R y R' pueden ser cualquier grupo orgánico. La dimetilcetona ó acetona (CH_3COCH_3), es la cetona más importante, además, tiene una gran aplicación como disolvente.⁽¹⁷⁾

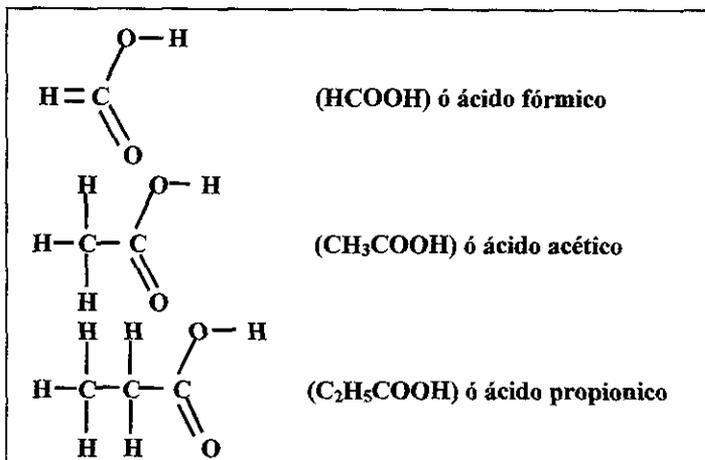
II.2.2.2.3 ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

La mayor parte de los compuestos orgánicos ácidos contienen el grupo $-\text{COOH}$.



(17)

La R puede ser hidrogeno ó cualquier radical orgánico, algunos de los ácidos orgánicos más sencillos son:



(BIBLIOGRAFÍA 17)

II.2.2.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un gas no irritante, incoloro, insípido, casi inodoro. Su punto de fusión es a los -200° C, y el de ebullición a -191.5° C, la presión crítica es a 35.72 kg/cm^2 .⁽¹⁰⁾

El CO es un gas muy venenoso, 10 c.c. (centímetros cúbicos), por kilogramo de peso en un animal produce la muerte, la inhalación de aire con 1 volumen de CO en 800 es fatal al cabo de media hora. El monóxido de carbono no es venenoso para las plantas verdes, y las bacterias del suelo que lo oxidan, los animales que están exentos de hemoglobina pueden vivir en una atmósfera de 4 volúmenes de CO y un volumen de O₂.⁽¹⁰⁾

La acción venenosa de CO se ejerce desplazando el oxígeno en la hemoglobina de la sangre, formando un compuesto llamado carboxihemoglobina (COHB) de color rojo subido, que es estable y no se descompone por el oxígeno. Cuando una persona tiene COHB se le debe suministrar oxígeno con 5% de dióxido de carbono y ha de permanecer caliente, los ratones y los canarios son muy susceptibles al CO, antiguamente tenían una valiosa participación en las minas de carbón.⁽¹⁰⁾

El tráfico denso y el tabaquismo representan las exposiciones más importantes de este gas en la población, este último es un indicador de presencia de COHB. Existe en un promedio el 0.5% de esta sustancia en una persona no fumadora y de 5% al 12% en personas fumadoras, en habitantes que no fuman que se ven expuestos en áreas de fumadores la COHB aumenta hasta en 2%. En la tabla II.5 se muestran las concentraciones de monóxido de carbono en diferentes sitios.⁽¹⁹⁾

TABLA II.5 CONCENTRACIÓN DE CO EN DIVERSOS LUGARES	
SITIO	CONCENTRACIÓN
CALLES, AVENIDAS Y AUTOPISTAS	> 44 ppm
AUTO CERRADO CON FUMADORES	> 87 ppm
COCHERA CERRADA SIN VENTILACIÓN	> 100 ppm
TÚNEL MUY TRANSITADO	> 200 ppm
EXPOSICIÓN DE NO FUMADORES	20 - 50 ppm
AMBIENTES LABORALES	> 100 ppm

(BIBLIOGRAFÍA 19)

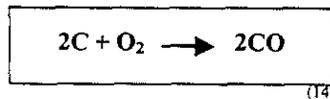
Los síntomas y efectos en la salud se manifiestan con dolor de cabeza, mareo, somnolencia y náusea, en grandes exposiciones sobrevienen los vómitos, colapsos e inclusive la muerte por paro respiratorio. Los órganos del cuerpo que más se ven afectados son el cerebro, el corazón y los fetos de las mujeres embarazadas, las personas más susceptibles a estos trastornos son los ancianos, por padecer estrechamiento de las arterias (arteriosclerosis), los niños en edad de desarrollo y principalmente en individuos que padecen de bronquitis crónica, enfisema ó anemia.

Las personas con alto índice de COHB disminuye su percepción visual, destreza manual, estado de alerta, capacidad de aprendizaje y capacidad para conducir vehículos.

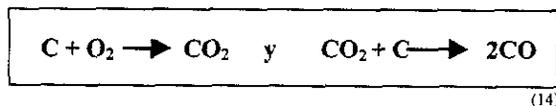
Es importante mencionar que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA), ratifico en 1992, la norma de calidad del aire para el CO, con un valor de 9 ppm para un promedio de 8 horas, esta concentración se traduce en niveles de 2% a 2.9% de COHB. Estos hallazgos sugieren que convendría revisar el estándar recientemente adoptado en México que es de 11 ppm por 8 horas.⁽¹⁹⁾

El CO se produce en los motores de automóviles cuando se tiene mezclas ricas en combustible. Su presencia es el resultado de algunos de los siguientes casos:

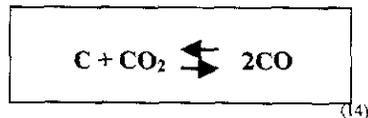
- 1.- Por insuficiencia de oxígeno desarrollando una combustión incompleta.



- 2.- Las temperaturas arriba de 300 °C, producen que algunos hidrocarburos que se encuentran cercanos a los electrodos de la bujía sufran una rápida oxidación y reaccionando con el CO₂ formando CO.



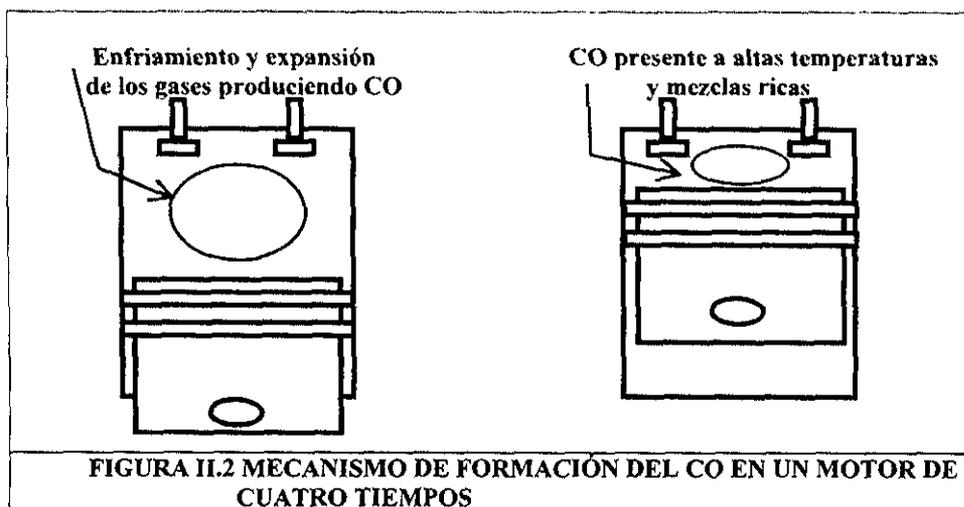
- 3.- Por un enfriamiento súbito al detenerse la combustión de la gasolina y la rápida expansión dentro del cilindro debido al movimiento descendente del embolo.



En la figura II.2 se ilustra el proceso de formación del CO dentro del cilindro de un motor.

II.2.2.3 PRODUCTOS DE LA DESINTEGRACIÓN.

A este grupo pertenece el acetileno, etileno, hidrógeno e hidrocarburos policíclicos.



II.2.2.3.1 ACETILENO

El acetileno (C_2H_2) es un gas incoloro con olor a éter similar al del ajo cuando está puro, pero contenido en los cilindros tiene un olor diferente debido al vapor de acetona que contienen en su interior. Su principal uso es en la soldadura oxiacetilénica, no es venenoso en pequeñas cantidades y sirve como anestésico, forma con la hemoglobina un compuesto contrario al del monóxido de carbono, es inestable y se descompone rápidamente con la aireación, es más ligero que el aire. Si se enfría fuertemente se forma un sólido blanco que sublima a $-83.6^\circ C$, a 1.29 kg/cm^2 el sólido funde a $-81^\circ C$ dando un líquido incoloro, la temperatura crítica es $35.5^\circ C$ y la presión crítica 63.65 kg/cm^2 , se inflama a $428^\circ C$ en el aire.⁽¹⁰⁾

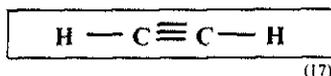
A temperaturas superiores a $780^\circ C$ ó a presiones mayores de 2.109 kg/cm^2 es inestable, y se puede producir una descomposición explosiva aun sin presencia de oxígeno, se ha convertido en una práctica segura y aceptada el nunca usar acetileno a presiones mayores de 1.05 kg/cm^2 , en generadores, cilindros, tuberías ó mangueras.⁽²⁰⁾

El acetileno contiene 92.3% del hidrógeno por peso, la formación de acetileno industrial se obtiene dejando tirar terrones de carburo de calcio en agua, el gas burbujea a través del agua, y todo el precipitado consiste en cal apagada, la reacción que se produce en el generador de acetileno es:



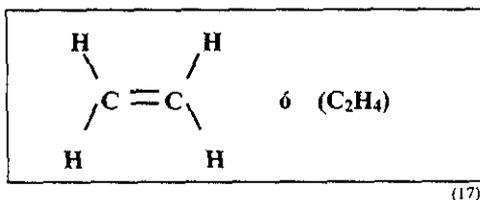
(21)

Las moléculas de los hidrocarburos acetilénicos tienen triples enlaces.

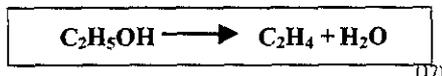


II.2.2.3.2 ETILENO

Este tipo de hidrocarburo se identifica por su doble enlace:



La preparación industrial del etileno es haciendo pasar alcohol en forma de vapor sobre dióxido de torio ó alumina que actúan como catalizadores a 350° C.



El etileno es un gas incoloro, con un olor dulce, su punto de ebullición es a -103.7° C y el de fusión -169.5° C, la temperatura crítica 9.5° C, presión crítica 52.65 kg/cm², ha sido utilizado como anestésico y para madurar fruta.⁽¹⁰⁾

II.2.2.3.3 HIDROGENO

Existe muy poco hidrógeno (H) libre en la Tierra debido a que arde fácilmente y casi todo se encuentra en las capas altas de la atmósfera, es el elemento más abundante del Universo, el espectroscopio muestra que la atmósfera exterior del sol esta constituida en gran parte por este elemento, en la Tierra su compuesto más abundante es el agua H₂O, los ácidos halógenos y los sulfuros de hidrógeno (H₂S).⁽¹⁰⁾

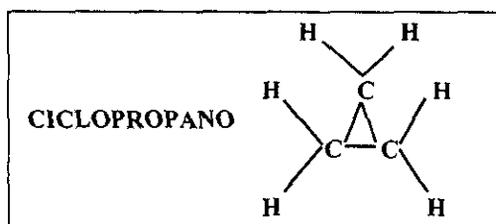
A causa de su pequeña masa atómica el hidrogeno solamente constituye el 0.88% en peso de la corteza terrestre, la atmósfera y la hidrosfera. Las mezclas de hidrógeno/aire son explosivas, pero en proporciones con más del 71.4 % ó menos del 6.2% de hidrógeno no detonan. En su estado puro arde suavemente en el aire, el dirigible Hinderburg fue en 1937 un ejemplo terrible de esta reacción a gran escala, si el hidrogeno se hubiera mezclado con mas del 29% de aire antes de su ignición se habría producido una explosión terrible.⁽¹⁷⁾

El hidrógeno se obtiene por electrolisis del agua dulce en donde se desprenden 2 volúmenes de hidrógeno en el cátodo y uno de oxígeno en el ánodo.⁽¹⁰⁾

El hidrógeno puro es un gas incoloro, inodoro e insípido, que no sirve para la respiración, y no es venenoso a menos que tenga impurezas como el CO. Si se respira mezclado con el aire durante un corto tiempo debilita la voz y eleva el tono, su densidad normal es de 0.08987 gramos/litro, su temperatura de ebullición es a -252.78°C , y la de fusión -259°C , la crítica es a -239.9°C , y su presión crítica 13.26 kg/cm^2 .⁽¹⁰⁾

II.2.2.3.4 HIDROCARBUROS POLICICLICOS

Los hidrocarburos policíclicos están formados por anillos entre los carbonos, por ejemplo el ciclo propano.



(17)

II.2.3 SUBPRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

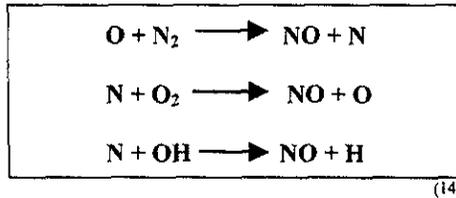
Desgraciadamente el nitrógeno contenido en el aire participa en la combustión de las gasolinas, idealmente no entraría, pero dadas las condiciones dentro de las cámaras del motor se producen óxidos de nitrógeno y subproductos de los aditivos e impurezas de las gasolinas.

II.2.3.1 MONÓXIDO DE NITRÓGENO

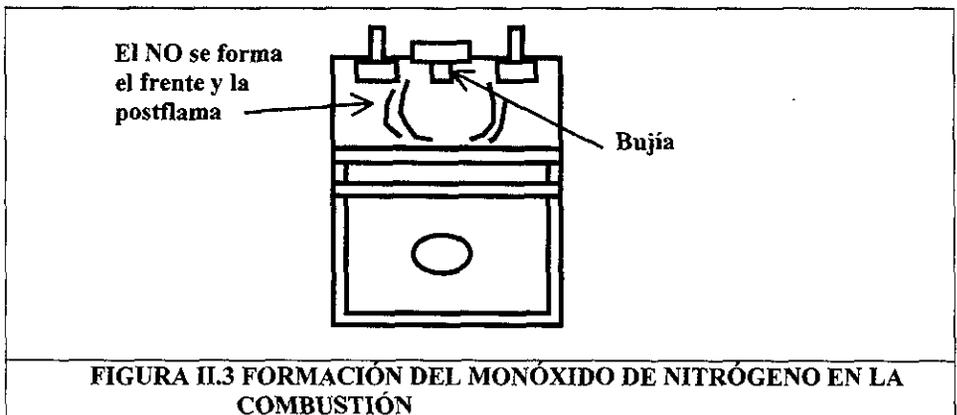
El Monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Se forma por reacciones químicas en las cuales se involucra el nitrógeno y el oxígeno, las cuales no consiguen un equilibrio químico por las altas presiones y temperaturas de los gases quemados que se producen en el frente y en la parte de atrás de la flama. La mayor cantidad de NO se realiza en la post flama, ya que los gases que fueron quemados tempranamente son comprimidos a una mayor temperatura de la que alcanzaron en la combustión. Cuando los gases quemados se enfrían en la carrera de expansión del pistón, la formación de NO es muy por encima a los niveles correspondientes a las condiciones de equilibrio de la expulsión.⁽¹⁴⁾

La principal fuente del nitrógeno es el aire atmosférico. Sin embargo, si el combustible tiene cantidades importantes de nitrógeno, la oxidación de estos llega a ser una fuente adicional. Las gasolinas contienen cantidades insignificantes de compuestos de nitrógeno y a pesar de que el diesel contiene mayores cantidades no son considerables.⁽¹⁴⁾

Las principales reacciones que involucran al NO a partir del nitrógeno molecular son:



En la figura II.3 se ilustra como el frente de flama va produciendo el monóxido de nitrógeno.



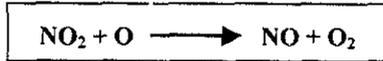
II.2.3.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Es un gas venenoso de color pardo rojizo, se ha medido que del 10 al 30% de las emisiones en los gases de escape en los motores diesel es dióxido de nitrógeno (NO_2). El monóxido de nitrógeno formado en la zona de la flama puede ser convertido rápidamente a NO_2 por medio de la reacción:



(17)

y consecuentemente la conversión del NO_2 a NO .



(17)

El dióxido de nitrógeno es potencialmente dañino a la salud humana, estimándose cuatro veces más tóxico que el monóxido de nitrógeno. En la concentración que se encuentra en la atmósfera no es irritante y no se le considera un peligro, pero su acumulación en el cuerpo constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que tiene la capacidad de alterar la respuesta de las células generando problemas de percepción olfativa, dolor de cabeza, mareo, dificultad de respirar, edema pulmonar (acumulación de fluido) y finalmente la muerte.⁽¹⁹⁾

II.2.3.3 ÓXIDOS DE PLOMO

El plomo (Pb) es un metal suave, de color gris blanquecino y poco soluble al agua, es uno de los metales pesados más difusamente distribuidos en toda la superficie de la Tierra que se presenta en forma de vapor, aerosol ó polvo. Su principal fuente es la combustión de las gasolinas que contiene tetraetilo de plomo como aditivo, en la minería y la fundición, por consecuencia, el riesgo de exposición de la población es muy variado.

La forma química del plomo es un factor importante que afecta el comportamiento biológico del cuerpo humano. Los compuestos de plomo son absorbidos rápidamente por la piel, las membranas mucosas y de los tractos gastrointestinales, el consumo de alimentos representa el 60% de la vía de entrada al organismo, la inhalación tiene el 30% y el agua con 10%.⁽¹⁹⁾

El plomo se comporta en el cuerpo humano igual que el calcio, almacenándose en los huesos y dientes por 2 ó 3 años el cual puede movilizarse cuando las personas sufren enfermedades febriles y las que llevan tratamientos con cortisona, además, se puede metabolizar y entrar en el torrente sanguíneo.⁽¹⁹⁾

Provoca lesiones en los riñones y en el sistema nervioso central, e impide la realización de varias etapas en la formación de hemoglobina del sistema hematopoyético causando la anemia, asimismo puede producir abortos en mujeres embarazadas. Los riesgos de la intoxicación por plomo son mayores en niños y mujeres embarazadas, los síntomas incluyen palidez, vomito, dolor abdominal, estreñimiento, apatía, impotencia, estupor (paralización de las funciones intelectuales), irritabilidad y falta de coordinación muscular.⁽¹⁹⁾

El criterio que se toma para evaluar la calidad del aire, es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 3 meses.⁽²²⁾

II.2.3.4 DIÓXIDO DE AZUFRE

El dióxido de azufre (SO_2), es un gas incoloro, con un olor picante e irritante, su densidad es de $2.9267 \text{ gr}/\text{lt}$, y se licua fácilmente por compresión a $2.58 \text{ kg}/\text{cm}^2$ a 15° C formando un liquido incoloro.⁽¹⁰⁾

El dióxido de azufre es altamente soluble, en consecuencia es absorbido por los conductos húmedos del sistema respiratorio provocando la irritación de los ojos y del tracto respiratorio, reduciendo las funciones pulmonares y agravando las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema. La realización de una actividad moderada a exposiciones de 0.4 a 0.5 ppm implica recibir atención medica y en niveles del orden de 1 ppm producen la constricción de la faringe.

El SO_2 es un gas que al combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida, en algunos países Europeos como Holanda han caído lluvias y nevadas con un pH menor de 4, el cual afecta la vida de algunas especies marinas como el salmón que no puede sobrevivir en aguas con un pH menor de 5.5. En las plantas produce lesiones en las hojas reduciendo la producción de la fotosíntesis, corroe al acero, deteriora los contactos eléctricos, el papel, el cuero, los textiles, las pinturas, los materiales de construcción y los monumentos históricos.⁽²²⁾

Las principales fuentes de producción de SO_2 es la combustión del carbón, la gasolina que contiene azufre, en la refinación del petróleo, fundición de vetas metálicas, procesos industriales, la única fuente natural son las erupciones volcánicas.⁽¹⁾

La media diaria recomendada es de 0.13 ppm ($340 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En la tabla II.6 se muestra los efectos de los óxidos de azufre a la salud, con diferentes concentraciones.

II.2.4 OXIDANTES (OZONO)

El ozono (O_3) tiene un olor eléctrico, hay pruebas espectroscópicas de la existencia de ozono en la capa más alta de la atmósfera, donde puede formarse por la acción de la luz ultravioleta sobre el oxígeno, recibe el nombre de smog fotoquímico.

El ozono se forma a partir del oxígeno molecular con absorción de energía:

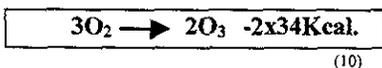


TABLA II.6 EFECTOS DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE EN LA SALUD	
NIVELES DE CONCENTRACIÓN	EFECTOS EN LA SALUD
80 - 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ DE PARTICULAS (MEDIA GEOMÉTRICA ANUAL)	AUMENTO DE LA MORTANDAD EN PERSONAS DE MAS DE 50 AÑOS
130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.045 ppm) DE SO_2 (MEDIA ANUAL)	AUMENTO DE LA MORBILIDAD Y DE LA GRAVEDAD DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS
190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.068 ppm) DE SO_2 DE (MEDIA ANUAL) CON CONCENTRACIONES APROXIMADAS DE PARTÍCULAS DE 177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AUMENTO DE LA MORBILIDAD Y DE LA GRAVEDAD DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN NIÑOS EN EDAD ESCOLAR
105 - 265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.037-0.092 ppm) DE SO_2 (MEDIA ANUAL) CON CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS DE 185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AUMENTO DE LA MORBILIDAD DE SÍNTOMAS RESPIRATORIOS Y DE ENFERMEDADES PULMONARES.
140 - 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 - 0.09 ppm) DE SO_2 (MEDIA DE 24 hr)	AUMENTO DE LA MORBILIDAD GENERAL EN PERSONAS MAYORES
300 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.11 - 0.19 ppm) DE SO_2 (MEDIA DE 24 hr) CON BAJOS NIVELES DE PARTÍCULAS	AUMENTO DE LA HOSPITALIZACIÓN POR ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y ABSENTISMOS LABORALES DE PERSONAS MAYORES
300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ DE PARTÍCULAS SOBRE 24 h, CON CONCENTRACIONES DE SO_2 DE 630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.22 ppm).	EMPEORAMIENTO AGUDO DE PACIENTES CON BRONQUITIS CRÓNICA.

(BIBLIOGRAFIA 22)

Se forma ozono exponiendo aire a la luz ultravioleta. Si se hace funcionar una lámpara de mercurio de cuarzo bajo una campana de vidrio durante unos minutos el aire de la campana huele fuertemente a ozono, ó cuando se hace pasar oxígeno entre dos placas metálicas conectadas a una bobina de inducción y se produce una descarga silenciosa de electricidad que no produzca chispas. La mayor concentración de ozono es entre 1 y 3 km sobre la superficie terrestre.⁽¹⁰⁾

El ozono ocasiona inflamación y cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, así como depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares. Estudios realizados demuestran que los cambios pulmonares persisten después de varios días de pasado el episodio de ozono, el cual ser el precursor del envejecimiento pulmonar prematuro. Los efectos en la salud se manifiestan por dolor de pecho, tos, congestión nasal y pulmonar, jadeo (respiración acelerada), dificultad para respirar, nauseas e irritación de garganta y ojos.⁽¹⁹⁾

El ozono es causante directo de la disminución en un 10% del rendimiento de cultivos como la soya, cacahuatc, maíz, trigo y el 20% en el jitomate, frijol, y ejote. Los plásticos sufren degradación por este gas.⁽¹⁹⁾

La norma de calidad de aire para el ozono es de 0.11 ppm ($204 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en una hora de exposición cada tres años.⁽¹⁹⁾

II.3 CONTAMINACIÓN

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el aire exterior de uno ó más elementos ya sean polvos, humos, gases, vapores ó emanaciones en cantidades, características y tiempos que pueden perjudicar a la vida animal y vegetal.⁽²⁾

II.3.1 CONTAMINANTE

Un contaminante del aire es una partícula sólida, líquida o gaseosa que al ser incorporada a la atmósfera perjudica en forma significativa la composición del aire dándole un carácter nocivo al medio ambiente.⁽²³⁾

II.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Los agentes contaminantes se clasifican en:⁽²⁾

- 1) Aerosoles (partículas sólidas y líquidas)
- 2) Gases y vapores.

II.3.2.1 AEROSOLES

Son sustancias volando en el aire en forma de polvos, humos, neblinas y emanaciones. Sus tamaños van de 0.1 micras a 100 micras. Sus orígenes y características son variados. Las partículas que tienen menos de 5 micras de diámetro tienden a formar suspensiones permanentes, estas mejor conocidas como partículas suspendidas menores de 10 micras (PM10).

II.3.2.1.1 POLVOS

Son la secuela del molido y desmenuzado de materiales orgánicos e inorgánicos. No forman conglomerados, excepto por la acción electrostática, tienden a depositarse por la acción de la gravedad.⁽²⁾

II.3.2.1.2 HUMOS

Generalmente son moléculas de carbón con tamaños que no suele pasar de una micra de diámetro. Las de tamaño inferior a 0.1 de micras no se depositan. En esta categoría figura la mayoría de las partículas sólidas de los humos.⁽²⁾

II.3.2.1.3 NEBLINAS

Son partículas líquidas formadas por la condensación de gases, vapores y líquidos derivados de la atomización, que se unen para formar grandes moléculas.⁽²⁾

II.3.2.1.4 EMANACIONES

Las partículas minerales originadas por la condensación de los gases empleados en manipulaciones industriales y como resultado de reacciones químicas. Estas emanaciones también pueden conglomerarse.⁽²⁾

II.3.2.2 GASES Y VAPORES

Son sustancias que se difunden en la atmósfera. las más comunes son el dióxido de azufre, ácido sulfhídrico, ácido fluorhídrico, óxidos de nitrógeno, aldehídos, monóxido de carbono y los vapores orgánicos.⁽²⁾

II.3.2.2.1 DIÓXIDO DE AZUFRE

Su origen está en la combustión de la gasolina y diesel, la presencia del azufre en la atmósfera depende de su concentración en los combustibles empleados.⁽²⁾

II.3.2.2.2 ÁCIDO SULFHÍDRICO

Su origen es en las refinerías donde se procesa el gas L.P., el gas natural y la destilación del petróleo, en concentraciones de 100 a 150 partes por millón (ppm) causa incomodidad por su mal olor, pero arriba de 1000 ppm son mortales en pocos minutos.⁽²⁾

II.3.2.2.3 ÁCIDO FLUORHÍDRICO

Los fluoruros se desprenden de los hornos de acero, cerámica, ladrillo, aluminio y fertilizantes, entre 0.008 ppm y 0.018 ppm son nocivas a los vegetales.⁽²⁾

II.3.2.2.4 OXIDO DE NITRÓGENO

Se forma por la combustión de la gasolina, el diesel, el petróleo, el gas natural y combinado con los rayos ultravioleta del sol colabora a la formación del ozono (O_3).⁽²⁾

II.3.2.2.5 ALDEHÍDOS

Son derivados del alcohol producido por una combustión incompleta, su presencia causa irritación en los ojos.⁽²⁾

II.3.2.2.6 MONÓXIDO DE CARBONO

Su principal fuente son los automóviles, produce alteraciones orgánicas, enfermedades crónicas y en casos extremos la muerte.⁽²⁾

II.3.2.2.7 VAPORES ORGÁNICOS

Entre estos contaminantes están las parafinas, oleofinas, acetilenos y otros compuestos derivados por la combustión de la gasolina y diesel.⁽²⁾

II.4 ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE

En México existe un medio para evaluar la calidad del aire llamado Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), su objetivo es informar a la población de una manera sencilla los niveles de contaminación existentes en el aire a través de una escala que es igual para todos los contaminantes según su capacidad de ocasionar molestias al ser humano.⁽¹⁹⁾

Se tienen niveles establecidos de concentraciones y tiempos de exposición de los contaminantes donde, el ciudadano promedio puede desenvolverse sin que se afecte en forma significativa su salud, estos niveles son establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas para la Calidad del Aire, ver tabla II.7

El IMECA toma el valor de concentración y tiempo de exposición que establece la norma ambiental para cada contaminante y lo asigna a los 100 puntos IMECA, de esta manera cualquier contaminante tiene la misma escala de ponderación en la unidad adimensional del IMECA.

Un IMECA, se define como una función que transforma la concentración de un contaminante a un valor simple, representativo de la calidad del aire de una región determinada. Estas funciones de transformación se pueden ver en la tabla II.8

El valor IMECA se obtiene por medio de dos procedimientos. El primero marca el establecimiento del IMECA horario, que permite conocer la calidad del aire cada hora del día durante las 24 horas y que involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en general en dos puntos de inflexión, al primer punto se le asignó arbitrariamente el valor de 100 IMECA y 500 al segundo.

TABLA II.7 VALORES NORMADOS PARA LOS CONTAMINANTES				
CONTAMINANTE	EXPOSICIÓN AGUDA			EXPOSICIÓN CRÓNICA (PARA PROTECCIÓN DE LA SALUD DE LA POBLACIÓN SUSCEPTIBLE)
	CONCENTRACIÓN	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (hr)	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	
OZONO (O ₃)	0.11 ppm	1	1 VEZ /3 AÑOS	---
DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	0.13 ppm	24	1 VEZ x AÑO	0.03 ppm(MEDIA ARITMÉTICA ANUAL)
DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂)	0.21 ppm	1	1 VEZ x AÑO	---
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	11 ppm	8	1 VEZ x AÑO	---
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST)	260 µg/m ³	24	1 VEZ x AÑO	75 µm ³ (MEDIA ARITMÉTICA ANUAL)
PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRAS (PM ₁₀)	150 µg/m ³	24	1 VEZ x AÑO	50 g/m ³ (MEDIA ARITMÉTICA ANUAL)
PLOMO (Pb)	---	--	---	1.5 ppm (PROMEDIO ARITMÉTICO EN 3 MESES)

(BIBLIOGRAFÍA 19)

El segundo procedimiento indica la forma de combinar los valores IMECA horaria para la obtención de un índice del día, que se conoce como IMECA diario.⁽¹⁹⁾

El valor 100 es representativo de la calidad del aire que se considera adecuado para la protección de la salud de la población y el de 500 corresponde a una situación en la cual se manifiestan diversos síntomas de acuerdo a la sensibilidad de los diferentes grupos de la ciudadanía. El contaminante que presente un valor máximo en el IMECA, es el que define la calidad del aire, en la tabla II.9 se muestra la escala del IMECA y sus efectos en la salud.

TABLA II.8 ECUACIONES DE TRANSFORMACIÓN DE CONCENTRACIÓN A IMECAS		
CONTAMINANTE	INTERVALO	ECUACIÓN
PST	0 - 260	$I_{PST} = C_{PST} 0.38461538$
	260 - 1000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$I_{PST} = C_{PST} 0.54054 - 40.5454$
SO ₂	0 - 0.13	$I_{SO_2} = C_{SO_2} 729.230769$
	0.13 - 1.0 (ppm)	$I_{SO_2} = C_{SO_2} 459.770114 + 40.22989$
CO	0 - 13	$I_{CO} = C_{CO} 7.69230769$
	13 - 50 (ppm)	$I_{CO} = C_{CO} 10.8108108 - 40.5405$
NO ₂	0 - 0.21	$I_{NO_2} = C_{NO_2} 476.190476$
	0.21 - 2.0 (ppm)	$I_{NO_2} = C_{NO_2} 223.463687 + 53.07264$
O ₃	0 - 0.11	$I_{O_3} = C_{O_3} 909.090909$
	0.11 - 0.6 (ppm)	$I_{O_3} = C_{O_3} 816.32653 + 10.20409$
PM ₁₀	0 - 50	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}}$
	51 - 350	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} (1/2) + 25$
	351 - 420	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} (10/7) - 300$
	421 - 500	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} (5/4) - 225$
	501 - 600 (ppm)	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} - 100$

(BIBLIOGRAFÍA 19)

II.4.1 DETERMINACIÓN DEL IMECA HORARIO Y DIARIO

En IMECA se determina para el Ozono (O₃), dióxido de Nitrógeno (NO₂), monóxido de Carbono (CO), dióxido de Azufre (SO₂) las partículas suspendidas totales (PST) y las partículas suspendidas totales menores de 10 micras de diámetro (PM₁₀).

El punto de partida en la determinación de los valores IMECA son las concentraciones horarias registradas por la red de monitoreo atmosférico para cada contaminante; aunque se sabe que éstos son promedios de las concentraciones medidas a lo largo de una hora.

II.4.1.1 IMECA HORARIO

Para determinar el IMECA horario del O₃ y NO₂ se miden los contaminantes en cada estación de monitoreo después se aplica la función de transformación (concentración a valor IMECA).

Para el CO, SO₂, partículas suspendidas totales (PST) y las PM₁₀, se calculan los promedios móviles y después se encuentra el máximo promedio móvil de la zona a cada hora, y a continuación se aplica la función de transformación para el IMECA.

TABLA II.9 ESCALA DEL ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE		
IMECA	CALIDAD DEL AIRE	EFFECTOS EN LA SALUD
0-50	BUENA	SITUACIÓN IDEAL PARA LA REALIZACIÓN DE TODO TIPO DE ACTIVIDAD FÍSICA.
51-100	SATISFACTORIA	CONDICIÓN FAVORABLE PARA LA PRACTICA DE TODO TIPO DE ACTIVIDAD.
101-200	NO SATISFACTORIA	AUMENTO DE MOLESTIAS MENORES EN PERSONAS SENSIBLES.
201-300	MALA	INCOMODIDAD E INTOLERANCIA RELATIVA AL EJERCICIO A PERSONAS CON PADECIMIENTOS RESPIRATORIOS Y CARDIOVASCULARES. APARICIÓN DE LIGERAS MOLESTIAS EN LA POBLACIÓN EN GENERAL.
301-500	MUY MALA	APARICIÓN DE DIVERSOS SÍNTOMAS E INTOLERANCIA AL EJERCICIO EN LA POBLACIÓN SANA.

(BIBLIOGRAFIA 24)

II.4.1.2 IMECA DIARIO

Para determinar el valor IMECA diario se toma el valor máximo horario que se dio en el día. Pero en el caso de las partículas suspendidas totales, dependerá del periodo de monitoreo, mismo que se debe efectuar cada 6 días con toma de muestras durante 24 horas en forma continua.

II.4.2 PLAN DE CONTINGENCIA AMBIENTAL

La contingencia ambiental es la situación eventual y transitoria que declaran las autoridades competentes, cuando la concentración de contaminantes en la atmósfera alcance niveles dañinos a la salud de la población en general.

El plan de contingencia ambiental se divide en cuatro fases:⁽¹⁹⁾

Preventiva (150 puntos en adelante)

Fase I (250 A 349 puntos IMECA)

Fase II (350 A 399 puntos IMECA)

Fase III (DE 400 puntos IMECA en adelante)

CAPITULO III SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES EN UN AUTOMÓVIL

III.1 INTRODUCCIÓN

Es evidente que la contaminación creada por el hombre, ha hecho necesario que se dicten leyes con el propósito de reducirla. El automóvil no ha sido la excepción, como vimos en el apartado anterior las regulaciones de emisiones establecen parámetros para los hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O₂) y niveles máximos y mínimos de dilución (CO + CO₂), pero los medios utilizados para enfrentarlos se han dejado en manos de los fabricantes.

III.2 HISTORIA DE LAS REGULACIONES ANTICONTAMINANTES

En 1955, el Departamento de Salud, Educación y Asistencia Social de los Estados Unidos de Norteamérica (EUA) inicia una serie de estudios sobre el problema de la contaminación atmosférica. En es tiempo se desconocía la cantidad de contaminantes que producían los automóviles.

Fue hasta 1962 que se determino que los motores de combustión interna eran los responsables de más del 40% de las emisiones contaminantes llevadas al aire, dando como resultado el Acta del Aire Limpio firmada en 1963 que establecería las futuras regulaciones ambientales con el fin de "mejorar la calidad del aire para que las emisiones automotrices no causen efectos adversos a la salud"⁽²⁶⁾

Entre 1963 y 1967 se realizaron las primeras investigaciones que proporcionaron la base tecnológica para diseñar los dispositivos de control de contaminantes y disminuir las emisiones peligrosas.

La primera corrección de la carta en 1965 exigía que todos los autos y camiones ligeros construidos a partir de 1968 estuvieran equipados con algún tipo de control de contaminantes.

A lo largo de las dos décadas siguientes, las regulaciones estrecharon los límites de contaminantes permitidos a los autos nuevos, de hecho entre 1960 y 1970 se tuvo una reducción del 80% en los niveles de HC y un 70% en CO.

En la tabla III.1 están los parámetros de inspección de control de emisiones típicas de esos años, en la primera columna se ve el año-modelo en donde se muestran los inicios del acta hasta finales de los 80's, en la segunda columna el numero de cilindros del motor, etc.

TABLA III.1 PARÁMETROS DE CONTROL DE CONTAMINANTES				
MODELO AÑO	CILINDROS	EQUIPO DE CONTROL	HC ppm	CO %
1955-67	4	NINGUNO	1200	7.5
1955-67	6	NINGUNO	800	8.0
1966-70	6	INYECCIÓN DE AIRE	400	4.5
1966-70	6	SIN INYECCIÓN DE AIRE	500	6.5
1968-71	4	INYECCIÓN DE AIRE	450	5.5
1968-71	4	SIN INYECCIÓN DE AIRE	700	7.0
1971-74	6	INYECCIÓN DE AIRE	300	3.5
1971-74	6	SIN INYECCIÓN DE AIRE	400	6.5
1972-74	4	INYECCIÓN DE AIRE	350	5.0
1972-74	4	SIN INYECCIÓN DE AIRE	350	6.5
1975-79	TODOS	SIN CONVERTIDOR	200	3.5
1975-79	TODOS	CONVERTIDOR 2 VÍAS / CON INYECCIÓN DE AIRE	150	1.5
1975-79	TODOS	CONVERTIDOR 2 VÍAS / SIN INYECCIÓN DE AIRE	250	4.5
1975-79	TODOS	CONVERTIDOR 3 VÍAS / CON INYECCIÓN DE AIRE	100	1.5
1980-89	TODOS	SIN CONVERTIDOR / CON INYECCIÓN DE AIRE	150	2.5
1980-89	TODOS	CONVERTIDOR 2 VÍAS / CON INYECCIÓN DE AIRE	150	1.2
1980-89	TODOS	CONVERTIDOR 2 VÍAS / SIN INYECCIÓN DE AIRE	150	2.5

(BIBLIOGRAFÍA 26)

La mayoría de estos dispositivos de control de contaminantes se desarrollaron durante la segunda mitad de los 60' y principios de los 70'. Es importante recordar que estos controles no se desarrollaron separadamente.

III.3 SISTEMAS DE CONTROL DE CONTAMINANTES

Los principales sistemas de control de gases contaminantes son de dos tipos:

Sistemas de pre-combustión: previenen las formaciones de contaminantes antes de las cámaras de combustión.

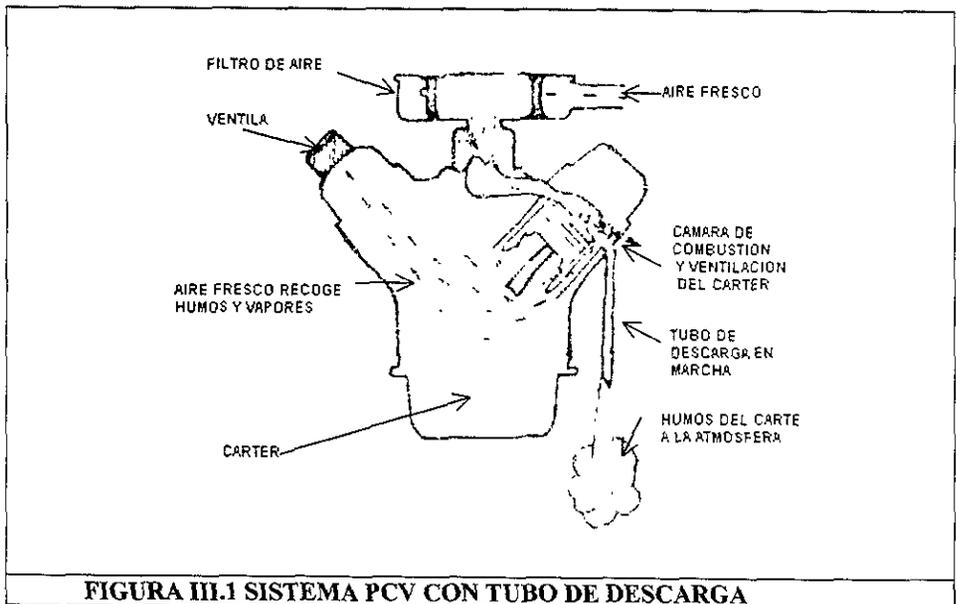
Sistemas de post-combustión: creados para controlar los contaminantes después de su formación.

III.3.1 SISTEMAS DE PRE-COMBUSTIÓN

Como su nombre lo indica, son sistemas que evitan la formación de los gases contaminantes antes de que puedan ser creados. Estos medios de control son muy eficientes, ya que es mejor, más fácil y menos costoso el no producir emisiones contaminantes, que el idear un método para poderlas destruir. La mayor parte de los métodos anti-contaminantes utilizados hoy en día son de este tipo.

III.3.1.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN POSITIVA DEL CÁRTER

La ventilación del cárter, se instala en el motor de combustión interna para evitar que los gases de combustión que son empujados más allá de los anillos del pistón hacia el cárter transformaran el aceite en lodo, al mismo tiempo evitar que la alta presión generada incrementara las revoluciones por minuto (rpm) del motor ó que el aceite traspasara los sellos y las juntas.



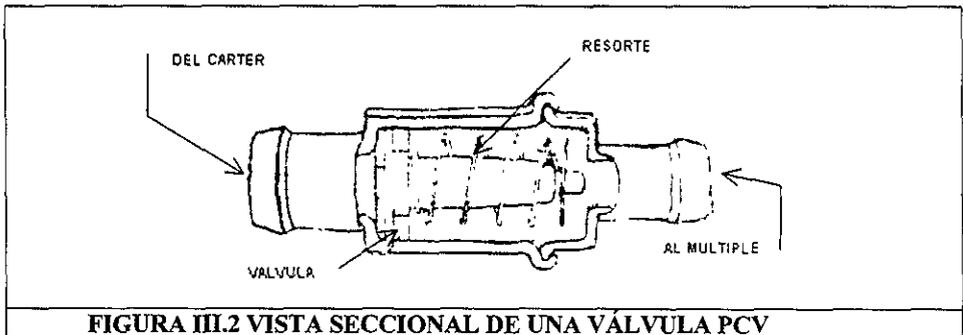
(BIBLIOGRAFIA.26)

El primer método de ventilación del cárter fue un conducto de descarga como el de la figura III.1 que se extendía por la parte exterior del motor hasta la superficie inferior. Con el caminar del coche se creaba un vacío en la salida del tubo que absorbía los gases del cárter,

conforme eran sacados, ingresaba aire fresco por medio de una ventila ubicada en la cubierta de la tapa de las válvulas.

Este tipo de sistema tiene el inconveniente de que solo trabaja cuando el vehículo esta circulando a velocidades mayores de 40 km/hr, aunado a esto, el flujo de aire es inestable reduciendo la eficiencia. Este sistema condujo el desarrollo de los primeros sistemas de la ventilación positiva del cárter llamado PCV (positive carter ventilation).

El primer sistema PCV dirige los gases del cárter a las cámaras de combustión para ser quemados, por medio de un tubo que conecta la admisión de aire con una válvula de una vía (válvula PCV) sobrepuesta en la tapa de punterías del motor. Conforme aumenta el vacío en la admisión la tensión del resorte cede permitiendo que se abra la válvula y se extraigan los vapores, un respiradero deja entrar aire al motor. En la figura III.2 se muestra la vista seccional de una válvula PCV.



(BIBLIOGRAFIA 26)

Investigaciones indicaron que el 20% de las emisiones producidas en un automóvil provenían del cárter, esto condujo a que el gobierno del estado de California en 1961 requiriera sistemas PCV en los vehículos de pasajeros y en 1963 todos los automóviles nuevos de la Unión Americana.

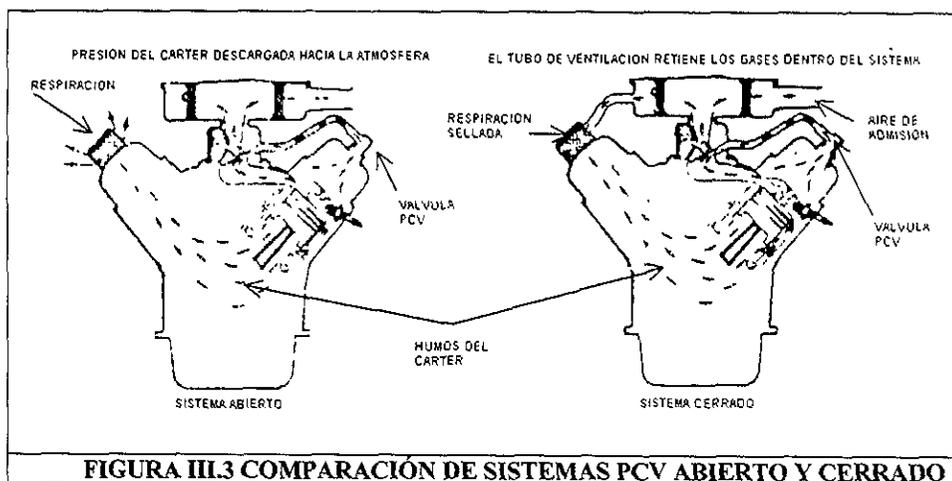
En la industria automotriz se han empleado dos sistemas PCV, uno abierto y otro cerrado, su diferencia es el tipo de respiradero antes mencionado, es decir, cuando este se encuentra conectado al filtro de aire se le considera cerrado, y cuando esta comunicado a la atmósfera es abierto.

Bajo Condiciones de aceleración total, las presiones en el cárter suben rápidamente y los niveles de vacío de admisión caen. Sin una señal de vacío la válvula PCV se cierra obligando a la presión interna a salir por el respiradero, esto funciona así en cualquier sistema PCV sea abierto ó cerrado, el problema con el sistema abierto es que con estas condiciones los humos del cárter son ventilados hacia la atmósfera.

Un sistema cerrado resuelve este problema conectando la respiración con el filtro de aire. En 1968 la legislación federal requirió del uso de sistemas cerrados en el motor. En la figura III.3 podemos observar los dos tipos de sistemas PCV.

III.3.1.2 CONTROLES EVAPORATIVOS

Un sistema de combustible debe estar ventilado para que funcione correctamente, originalmente se ventilaban el combustible hacia la atmósfera, en 1970 el gobierno de EUA prohibió este método.



Los dispositivos de control de emisiones evaporativas están diseñados para evitar que los hidrocarburos se volatilicen a la atmósfera, pero permiten la ventilación adecuada del sistema de combustible. Esto quiere decir que los vapores deben ser atrapados y guardados mientras el motor esta apagado y más tarde, cuando se da marcha sacados y quemados.

En la figura III.4 podemos apreciar los principales componentes del sistema de control de evaporación que alberga un automóvil.

III.3.1.2.1 TAPÓN DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE

Los tapones de los tanques de combustible ventilados directamente a la atmósfera ya no se emplean. En la actualidad todos contienen un sello con una válvula de presión/vacío, que protegen al tanque de un colapso en caso de haber una línea de ventilación defectuosa, esta

válvula se abre cuando hay una sobre-presión por la expansión de la gasolina ó cuando el vacío es muy grande debido al funcionamiento de la bomba de combustible.

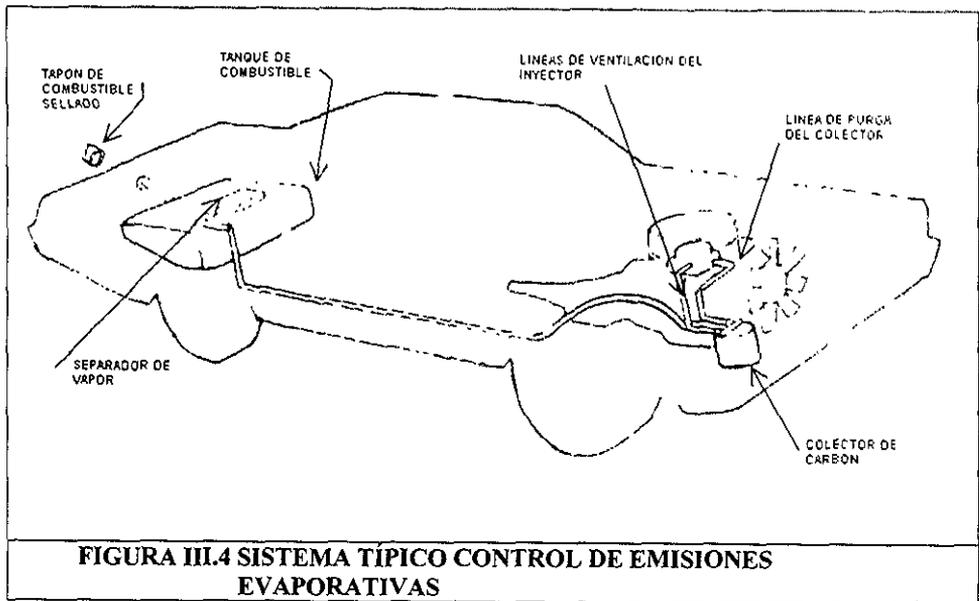


FIGURA III.4 SISTEMA TÍPICO CONTROL DE EMISIONES EVAPORATIVAS

(BIBLIOGRAFIA 26)

III.3.1.2.2 TANQUE DE COMBUSTIBLE

Para eliminar la posibilidad de un desbordamiento en el tanque de gasolina debido a la expansión térmica, se han diseñado con una nueva forma que permite un espacio residual del 10% en tanque lleno. El cuello del surtidor de combustible de los autos antiguos permitía un llenado total del tanque, dejando muy poco espacio para la expansión térmica, ahora el cuello se ha movido por debajo del techo y se extiende ligeramente dentro del tanque para que no pueda llenarse completamente. Como medida de protección adicional se ha incorporado una válvula rotatoria colocada en la línea de ventilación de vapor que evita el derrame de combustible en caso de que el vehículo se voltee en un accidente.

III.3.1.2.3 SEPARADOR DE VAPOR

Los sistemas de ventilación modernos usan tres ó cuatro líneas de ventilación en la parte superior del tanque de gasolina con el fin de que por lo menos una siempre este sobre el nivel de combustible en cualquier ángulo del vehículo.

Otros utilizan un separador de vapor que mantiene al combustible liquido en el tanque y fuera del tubo de ventilación que va al canister de carbón. Aunque se ha utilizado varios diseños, la tarea es la misma, los vapores de combustible suben al separador, en donde la condensación de combustible es regresada al tanque mientras los vapores son dirigidos al deposito de carbón activado. La línea de ventilación se extiende hacia el punto más alto del separador el cual tiene un pequeño orificio para evitar la transferencia de combustible liquido al canister.

En los últimos años se ha eliminado el separador de vapor, por una válvula separadora, ver figura III.5, que tienen su misma función y posición en el tanque de combustible.

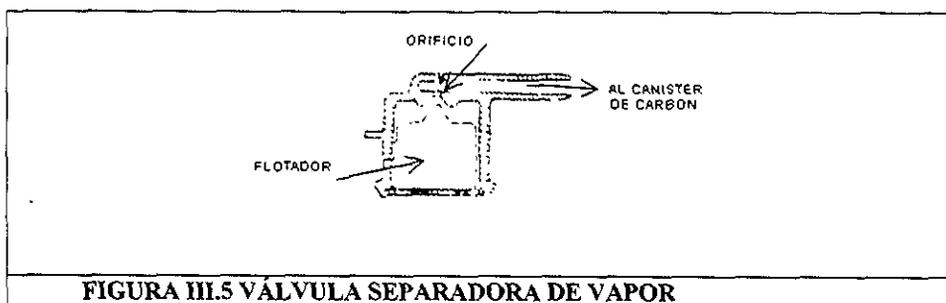


FIGURA III.5 VALVULA SEPARADORA DE VAPOR

(BIBLIOGRAFIA 26)

III.3.1.2.4 DEPOSITO DE CARBÓN ACTIVADO

El deposito de carbón activado ó canister es un contenedor de nylon ó plástico resistente a la gasolina, relleno de gránulos de carbón activado, que almacenan los vapores del tanque de gasolina.

Estos gases son llevados a la parte superior del canister por medio de las líneas de ventilación y después son purgados. La purga se refiere al proceso de jalar aire fresco a través de su filtro inferior para empujar los vapores de combustible fuera del carbón y dirigirlos al sistema de admisión.

Algunos vehículos grandes y camiones utilizan dos depósitos de carbón para asegurar la existencia de suficiente volumen disponible para los vapores. En la figura III.6 hay un canister con sus diferentes componentes, entre los que incluye al filtro, la línea de purgado, y el carbón activado.

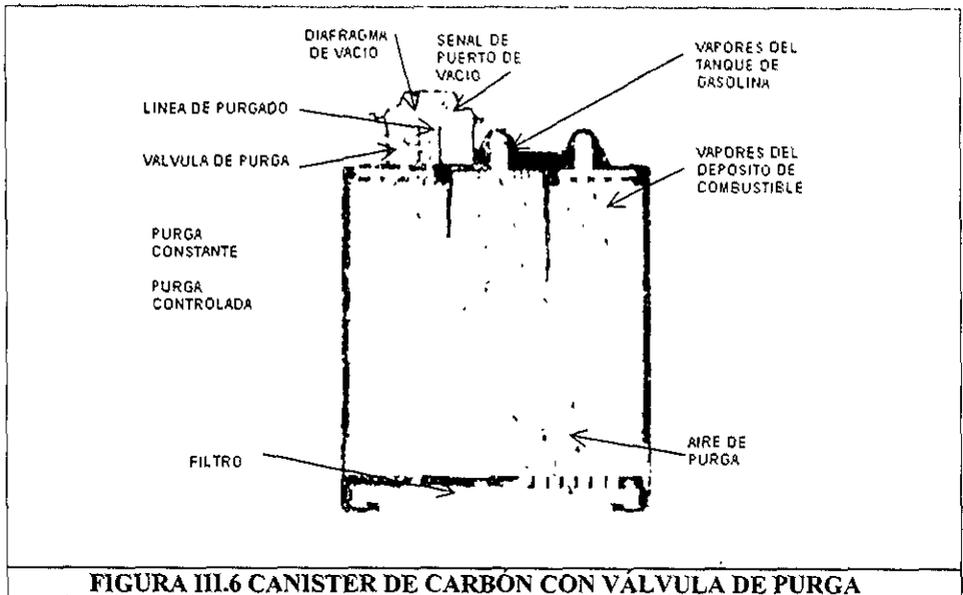


FIGURA III.6 CANISTER DE CARBÓN CON VÁLVULA DE PURGA

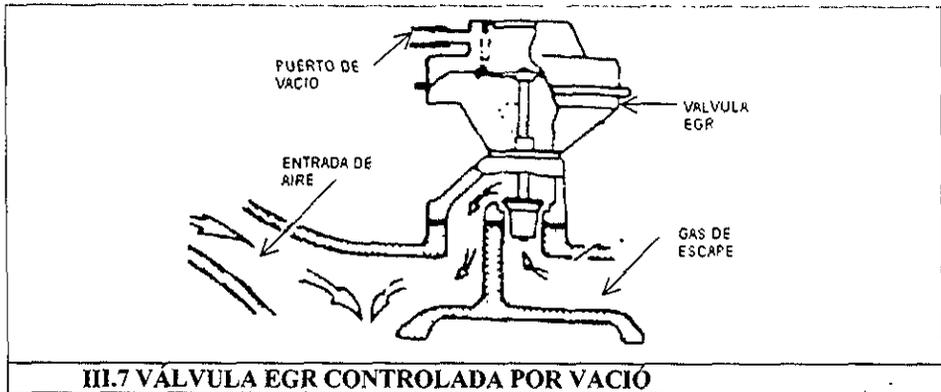
(BIBLIOGRAFÍA 26)

III.3.1.3 RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE

Como explicamos en el capítulo II, el nitrógeno es un gas inerte en condiciones atmosféricas, pero a temperaturas mayores de 1370°C y altas presiones como las producidas dentro del cilindro, se combina con el oxígeno para formar diferentes óxidos, estos en combinación con otros hidrocarburos y la presencia de los rayos del sol forma un gas café claro conocido como smog fotoquímico, en 1973 la legislación de EUA estableció los primeros parámetros de emisión de óxidos de nitrógeno para los autos nuevos.

El calor es un subproducto de la combustión que está directamente relacionado con la cantidad de gasolina disponible para quemar. La temperatura de esta ignición se puede controlar introduciendo un gas inerte en el cilindro que disuelva la mezcla aire/gasolina, los sistemas de recirculación del gas de escape EGR (exhaust gas recirculation) fueron diseñados para hacer exactamente eso.

Este sistema introduce por medio de una válvula EGR un máximo de 14% del total del espacio del cilindro de gases de escape en el múltiple de admisión afectando el calor de la combustión y la formación del contaminante.



III.7 VÁLVULA EGR CONTROLADA POR VACÍO

(BIBLIOGRAFÍA 27)

La válvula EGR básica consiste en una válvula de aguja con diafragma normalmente cerrada, instalada en el múltiple de admisión y activada por el vacío del motor, cuando la válvula está abierta deja pasar los gases de escape a través de su base al sistema de admisión.

Cuando los motores a gasolina están en marcha mínima (ralentí) el resorte del diafragma mantiene la válvula cerrada, pero en una aceleración ligera ó en condiciones de cruce la señal de vacío aumenta accionando la válvula, en los motores diesel permanece abierta aún en ralentí.

En la figura III.7 hay una válvula EGR accionada por el vacío del motor en donde se puede observar el flujo de gases de admisión que viaja hacia el puerto de aceleración. Este tipo de compuerta fue instalado en los modelos 1972 y hoy en día contamos con sistemas EGR más modernos controlados electrónicamente.

III.3.1.4 CONTROL DE CHISPA

En el apartado I vimos algunas características del control de encendido el cual determina el punto exacto de ignición de la mezcla aire/combustible. Evitando que se produzcan altos niveles de contaminantes.

El sistema de control de chispa antiguo era controlado por un distribuidor que adelantaba la chispa según la velocidad del vehículo ó de los cambios en la posición del acelerador por medio de líneas de vacío y contrapesos.

Para que la combustión ocurra consistentemente en cualquier circunstancia (marcha lenta, altas temperaturas, altas velocidades, desaceleración, arranque en frío, etc.), el sistema de control moderno es operado por un modulo de ignición computarizado que trabaja según las condiciones dentro y fuera del motor. Este tipo de sistema tiene las siguientes ventajas:

- No hay partes móviles
- Menor mantenimiento
- Capacidad de montaje remoto
- No hay carga mecánica al motor
- Mayor tiempo de enfriamiento de la bobina
- Eliminación de ajustes mecánicos del tiempo

En el sistema moderno se emplea un sensor magnético que envía impulsos eléctricos, de cada una de las ranuras del volante reductor del cigüeñal al módulo de ignición el cual genera además de la señal de encendido, la señal de sincronía con la inyección de combustible. En la figura III.8 podemos observar un circuito del sistema de encendido por computadora.

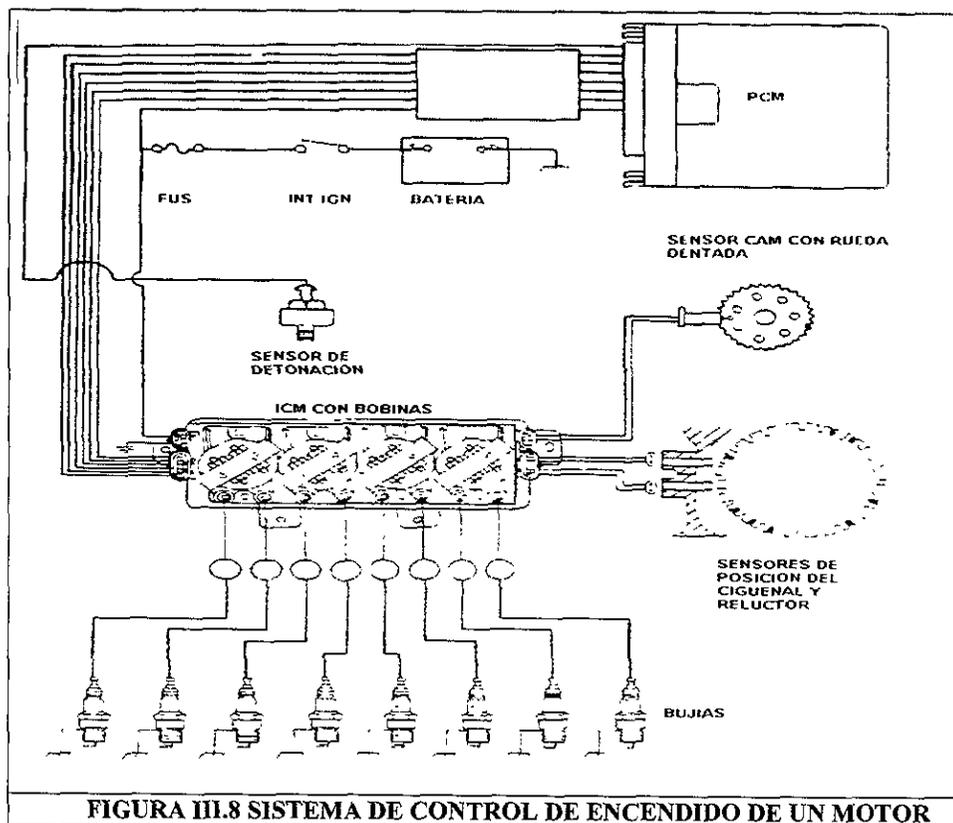


FIGURA III.8 SISTEMA DE CONTROL DE ENCENDIDO DE UN MOTOR

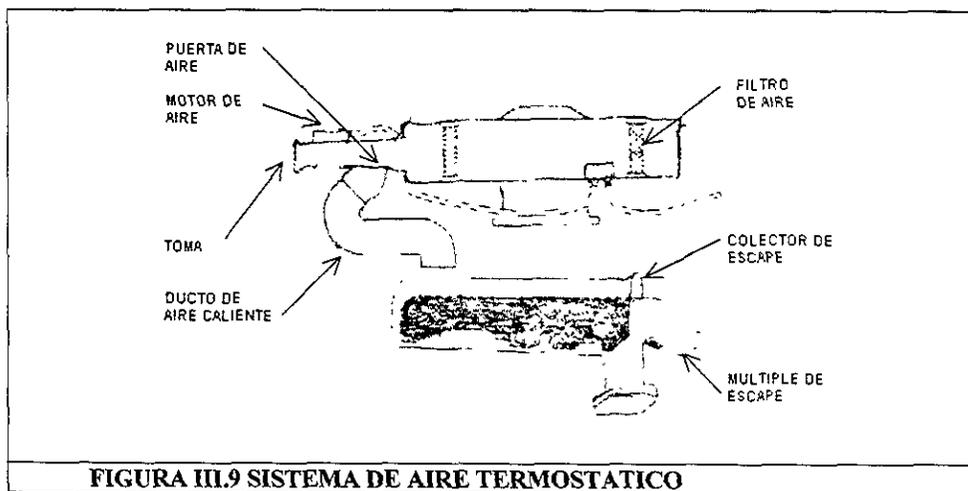
(BIBLIOGRAFÍA 27)

III.3.1.5 SISTEMAS DE AIRE TERMOSTÁTICOS

Si los niveles de emisiones automotrices se midieran a 2500 rpm con un motor caliente muchos de los controles de emisiones presentes fueran innecesarios, sin embargo, los automóviles no trabajan bajo condiciones tan predecibles y estables, por el contrario funcionan a diferentes velocidades, temperaturas, altitudes y humedades. Una condición de operación importante es el arranque inicial y el calentamiento de motor en frío.

Cuando un motor es arrancado después de estar detenido por toda la noche, el múltiple de admisión se encuentra frío provocando la condensación de la gasolina en sus paredes internas. Haciendo que la gasolina no llegue en forma adecuada a las cámaras de combustión y que el motor trabaje, es entonces necesario enriquecer la mezcla aire/combustible previniendo una marcha suave del motor, en las primeras etapas de manejo. Desgraciadamente los niveles de HC y CO aumentan con estos ajustes, hasta que el motor este completamente caliente.

El propósito del filtro de aire termostático es eliminar estos problemas suministrando aire tibio en el arranque en frío, y cuando este ya alcanzo su temperatura correcta, entregar aire fresco al dosificador de combustible.



(BIBLIOGRAFÍA 26)

El aire tibio es recolectado de los alrededores del múltiple de escape por un colector y llevado a través de un conducto a una compuerta normalmente cerrada que esta colocada en el filtro de aire. Cuando se da marcha con el motor frío, la puerta se abre permitiendo el paso del aire caliente por el filtro y cuando el motor esta completamente caliente solo se admite aire

fresco, la posición de la compuerta de aire termostático está controlado por un termostato ó una válvula de vacío. En la figura III.9 se muestra un sistema de aire termostático típico.

Los automóviles que tienen inyección de gasolina multi-puerto MPFI (multi-port fuel injection), en donde el combustible es inyectado directamente a la válvula de admisión usualmente no tienen filtros de aire termostáticos, ya que en ellos no se pierde combustible por condensación, y que son capaces de controlar la mezcla sin calentamiento del aire de admisión.

Algunos otros vehículos con inyección en el cuerpo de aceleración TBI (throttle body injection) es necesaria la aplicación del aire termostático, dado que el inyector es colocado en la posición del carburador.

III.3.1.6 INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

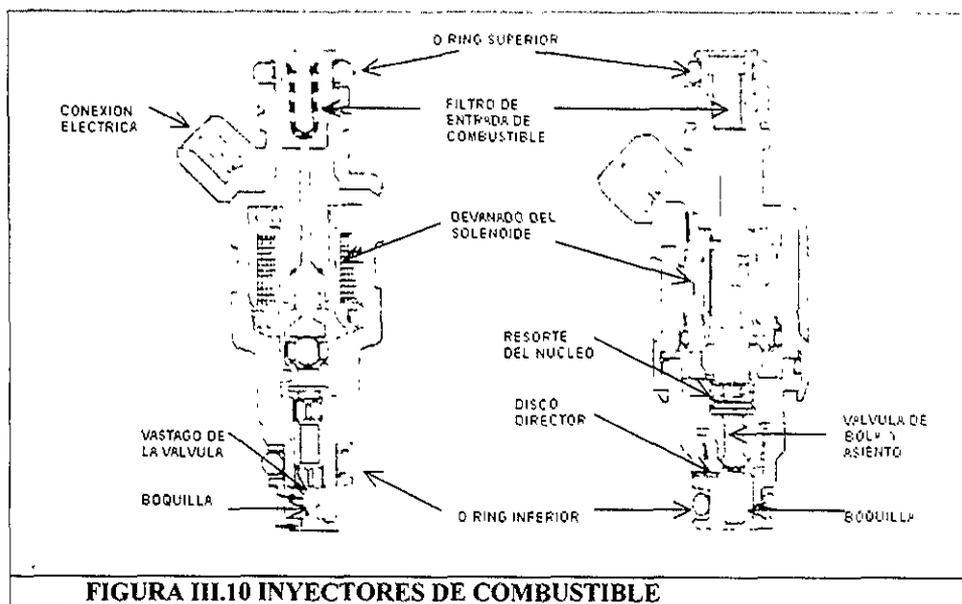
Los inicios de la inyección de gasolina en los motores de encendido por chispa se remontan a los años de la Segunda Guerra Mundial y su primera aplicación fue en los motores de aviación.

Los primeros automóviles que portaron sistemas de inyección fueron los modelos Mercedes 300 SL 53-54' y el Chevrolet Corvette 58'. Pero con la crisis del petróleo en los 70', la inyección de gasolina tuvo un nuevo auge.

Los sistemas de inyección de gasolina pretenden conseguir una dosificación del combustible lo más ajustada posible a las condiciones de marcha y estado del motor, empleando en la mayoría de los casos unos inyectores de mando eléctrico que en su apertura presentan siempre la misma sección de paso, y gracias a la forma del agujero de salida, pulverizan finamente el combustible.

Un módulo electrónico controla el tiempo de apertura de los inyectores en función de los datos que recibe de los diferentes captadores periféricos del sistema. Es de gran importancia que la presión del combustible en los inyectores sea constante y sin fluctuaciones gracias al uso de bombas de gasolina eléctricas, válvulas y acumuladores de presión, pues la cantidad de gasolina inyectada solo debe depender del tiempo de apertura de los inyectores, parámetro fácilmente controlable por el módulo electrónico.

El tiempo de apertura de los inyectores lo determina el módulo electrónico en función del número de las rpm del motor, la temperatura del motor, la tensión de la batería, la composición del aire de admisión, la posición de la válvula mariposa, y el contenido de oxígeno en los gases de escape. En la figura III.10 se muestra dos inyectores eléctricos de la casa Bosch y Multec.



III.3.1.7 ÁRBOL DE LEVAS

El árbol de levas es el instrumento por el cual las válvulas de admisión y escape se abren ó cierran, se han realizado varios cambios en el tiempo del árbol de levas para reducir la presión de compresión y la temperatura de combustión, los dos requisitos para la producción de NOx.

Para reducir directamente la temperatura de combustión, se ha aumentado el traslape de las válvulas, permitiendo que parte del gas de escape se queda en la cámara de combustión diluyendo la carga de admisión, funcionando de la misma forma que una válvula EGR. Junto con las temperaturas de combustión puede modificar la temperatura del sistema de enfriamiento y de la carga de admisión antes de que ésta entre en la cámara de combustión.

La tecnología más moderna llamada sincronización variable de las válvulas VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control), emplea un sistema hidráulico controlado por computadora para cambiar el perfil del árbol de levas alterando tanto la sincronización como la elevación de las válvulas.

Durante el periodo de arranque del motor, el sistema VTEC parcialmente desactiva una de las válvulas de admisión de cada cilindro, resultando la formación de un remolino en la cámara de combustión originando un efecto de carga estratificada.

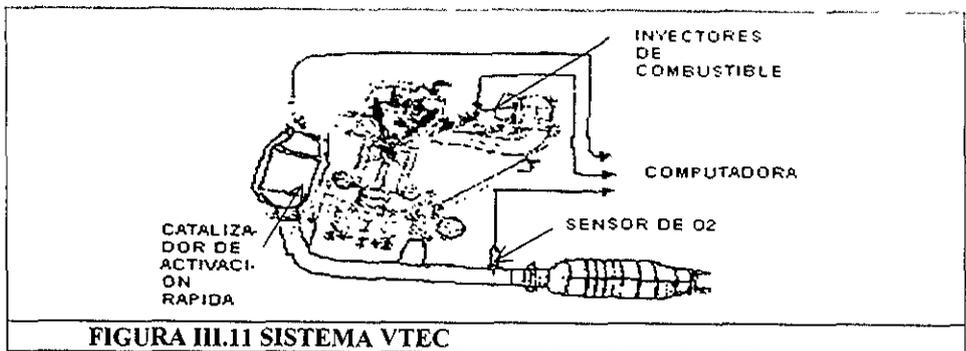


FIGURA III.11 SISTEMA VTEC

(BIBLIOGRAFIA 29)

Por lo tanto el motor funciona perfectamente con una mezcla aire/combustible muy pobre durante los arranques en frío, los motores convencionales funcionan con una mezcla rica de 1:13.0 aire/gasolina, para mantener una marcha de vacío suave. Con el sistema VTEC puede funcionar el motor en vacío suavemente con una mezcla pobre de 1:16.0 reduciendo en 45% las emisiones de hidrocarburos.

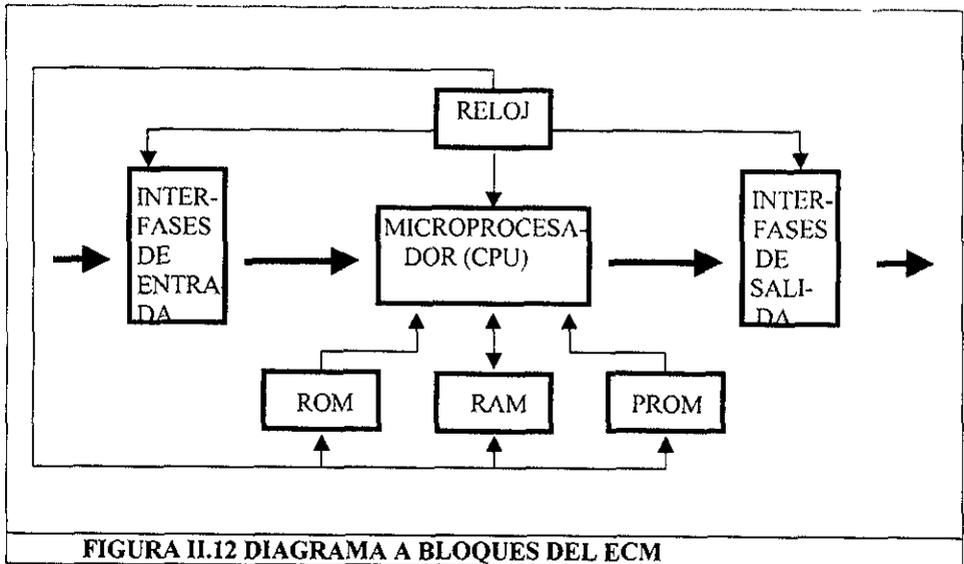
Para que este sistema pueda funcionar en tiempos reales, se ha desarrollado un sensor de flujo de aire lineal LAF (lineal air flow), y una computadora de 32 bits la que puede efectuar 16 millones de instrucciones por segundo.

Este tipo de motor recibió por parte de la Junta de Recursos del Aire de California CARB (California air resources board), la designación de vehículo con ultra-bajas emisiones ULEV (ultra low emission vehicle) ya que reduce el 90% de las emisiones. Este tipo de motor está listo para cumplir las recientes regulaciones del año 2000 que emitió el gobierno de California. En la figura III.11 se muestra un sistema VTEC con un sistema catalítico altamente refinado.

III.3.1.8 CONTROL COMPUTARIZADO

Uno de los desarrollos más importantes en el control de las emisiones contaminantes ha sido el control computarizado del motor llamado ECM (Engine Control Module). La introducción e incorporación de las mini-computadoras en los sistemas de emisiones contaminantes ha hecho la operación del motor más eficiente. Este sistema monitorea y ajusta la mezcla de combustible, el tiempo, y los dispositivos anticontaminantes para economizar el combustible, y reducir las emisiones.

Los modelos de los años 1978-79 de los fabricantes de EUA introdujeron sistemas sencillos que controlaban la relación de combustible, hoy en día a primera vista un motor equipado con sistemas de control computarizado parece estar rodeado por una masa de cables, sensores y solenoides, sin embargo, esta aglomeración no es tan difícil de entender.



(BIBLIORRAFIA 27)

Los sistemas computarizados controlan las operaciones del motor por medio de sensores que detectan y transmiten las condiciones existentes dentro y fuera del motor, muchos de estos medios han incluido la capacidad de autodiagnóstico, lo que permite detectar fallas de componentes, las cuales son mostradas al dueño ó el mecánico.

La computadora es un componente de estado sólido lleno de microcircuitos y dispositivos electrónicos. Su corazón es la unidad de control programable CPU (control program unit), que el fabricante le ha colocado información acerca del tamaño del motor peso del vehículo, tipo de transmisión, relación de ejes, orden de encendido, temperatura de operación del motor, información del avance de chispa, etc., en la figura II.12 se muestra a bloques un ECM.

Algunas unidades tienen la sección de programación reemplazable a las que nos referimos como memoria programable de lectura única, estos dispositivos se conectan en la computadora principal la cual adapta la programación para cumplir requisitos específicos.

Una afinación tradicional se efectúa para ayudar a mejorar la operación del motor, en vehículos con computadora la afinación es realizada por ella misma mediante un escaneo de autodiagnóstico.

Las computadoras usan un voltaje para comunicarse con los dispositivos de entrada-salida, y con otras computadoras, hay dos tipos de señales básicas que se usan para lograr esta comunicación, la analógica y la digital.

Una señal analógica se describe como una señal continua variable, por ejemplo la señal del sensor de posición del acelerador TP (throttle position), es un buen ejemplo de señal analógica. La Digital tiene únicamente dos niveles de voltaje, ON y OFF, por ejemplo una señal de referencia de rpm.

La computadora tiene dos modos de operación ya sea en circuito cerrado ó en circuito abierto.

III.3.1.8.1 CIRCUITO ABIERTO

Durante la operación del circuito abierto la computadora controla el motor por medio de comandos preprogramados, esta operación ocurre cuando el motor esta frio y funcionando a velocidad ralenti, en este ciclo la computadora no esta usando la señal del sensor de oxigeno (O₂S), el sistema permanece abierto hasta que ocurran las siguientes condiciones:

El voltaje de salida del sensor de oxigeno este variando que significa que esta lo suficientemente caliente para trabajar, un periodo de tiempo específico que el motor este en marcha, estos valores específicos están almacenados en el PROM del ECM.

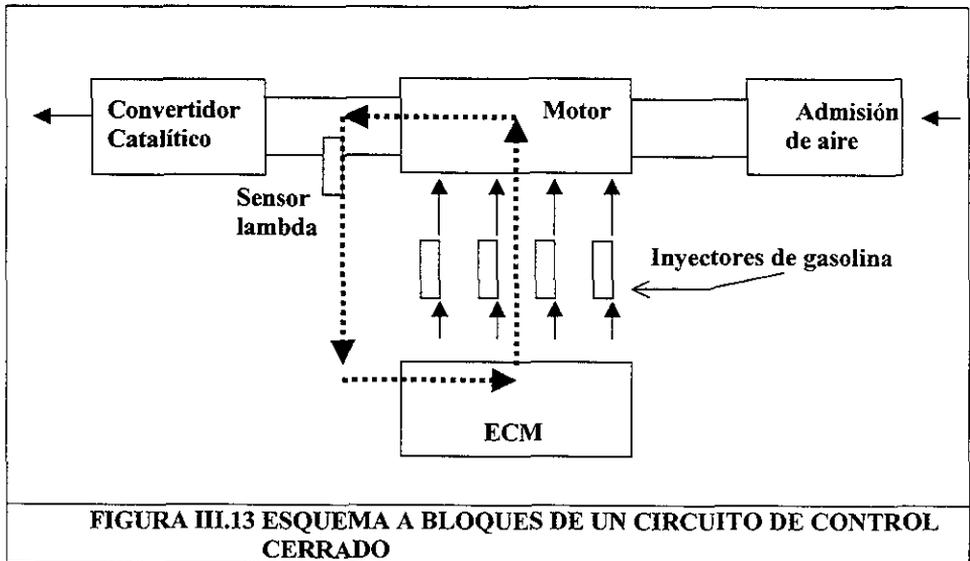


FIGURA III.13 ESQUEMA A BLOQUES DE UN CIRCUITO DE CONTROL CERRADO

(BIBLIOGRAFÍA 30)

III.3.1.8.2 CIRCUITO CERRADO

Durante la operación del circuito cerrado la computadora esta controlando la operación directa del motor en función del sensor de oxígeno, y del de temperatura del refrigerante.

La mayoría de los sensores son sencillas unidades emisoras que están aterrizadas, abiertas ó que proporcionan una resistencia variable, en algunos otros la computadora manda una señal de referencia y el sensor hace que disminuya una cierta cantidad

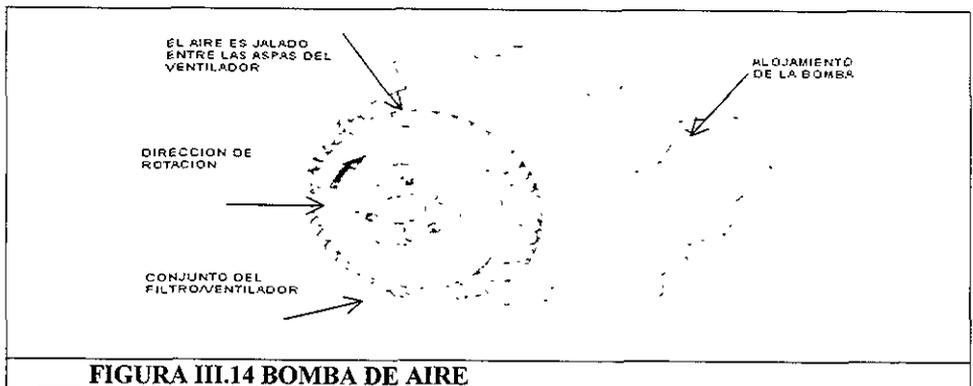
La figura III.13 tiene un esquema a bloques del circuito de control cerrado, donde se puede observar que los principales componentes que componen este sistema es el motor, los inyectores, el sensor lambda y el ECM.

III.3.2 SISTEMAS DE POST-COMBUSTIÓN

Los sistemas de post-combustión esta ubicados después de la cámara de combustión, es decir, cuando los gases de escape son expulsados sigue una etapa de combustión externa en el sistema de escape. En este sistema se incluye la inyección de aire, el sistema lambda y el convertidor catalítico.

III.3.2.1 INYECCIÓN DE AIRE

El calor de escape es suficiente para encender una mezcla de aire/combustible. Los sistemas de inyección de aire completan el proceso de combustión de la gasolina que se encuentra en el sistema de escape.



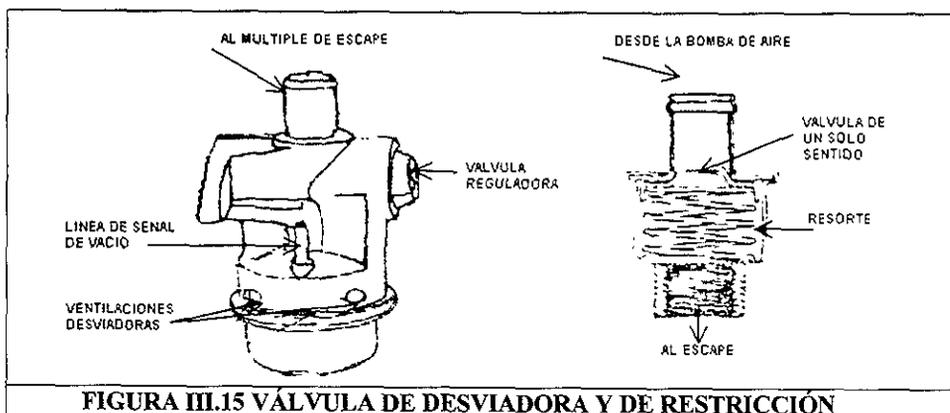
(BIBLIOGRAFÍA 26)

Este sistema utiliza una bomba de aire accionada por una banda, ver figura III.14, que dirige el aire por un riel de inyección montado sobre el múltiple de escape para ser inyectado directo a las válvulas de escape y que se encienda la mezcla, algunos otros sistemas también suministran aire al convertidor catalítico.

Además de la bomba de inyección se emplean dos válvulas en la línea de aire, entre la bomba y el múltiple de escape

La válvula desviadora evita las detonaciones durante una desaceleración rápida. Es decir, al cerrar rápidamente el acelerador a altas revoluciones del motor tiene como resultado una mezcla muy rica que no se puede quemar completamente en el cilindro, cuando la bomba inyecta aire fresco en esa corriente se producen detonaciones, la función de la válvula desviadora es evitar estas explosiones desviando temporalmente del sistema de escape el aire.

La válvula de restricción de un solo sentido evita que cuando hay una falla en la bomba de aire los gases de escape sean introducidos en el tubo de inyección y la bomba de aire, en la figura III.15 se muestran los dos tipos de válvulas descritas anteriormente.

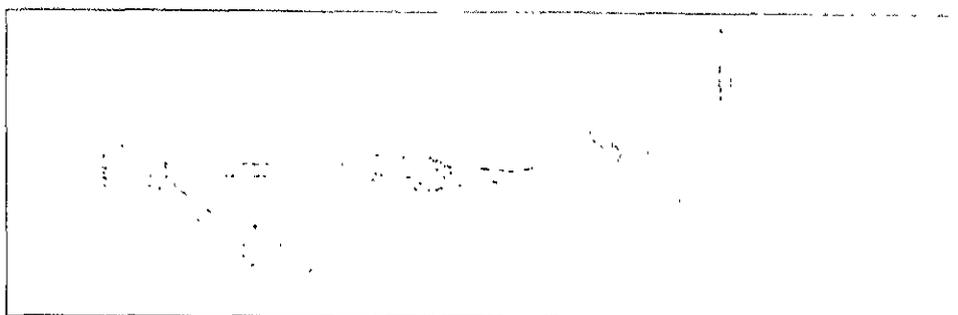


(BIBLIOGRAFÍA 26)

III.3.2.2 REGULACIÓN LAMBDA

Anteriormente habíamos hablado del circuito cerrado, y que la precisión para tener una mezcla exacta solo se consigue con un circuito de retroalimentación cerrado que mida continuamente los gases de escape y corrija inmediatamente las correspondientes cantidades de combustible aportadas al cilindro, para lograr esto es necesaria la utilización de un sensor lambda ó de oxígeno.

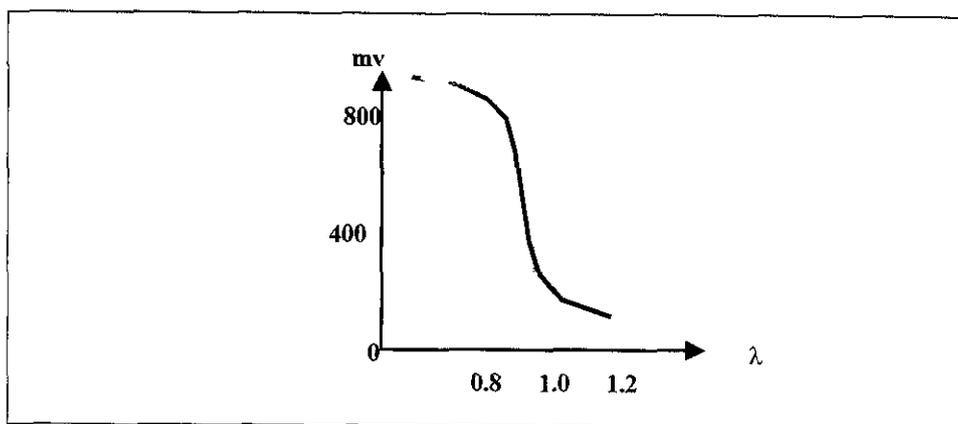
La función de una sonda de oxígeno es medir la cantidad de oxígeno de los gases de escape. Generalmente instalada en el tubo de escape antes del convertidor catalítico situado

**FIGURA III.18 SENSOR DE OXIGENO DEL TIPO CALIENTE**

(BIBLIOGRAFIA 31)

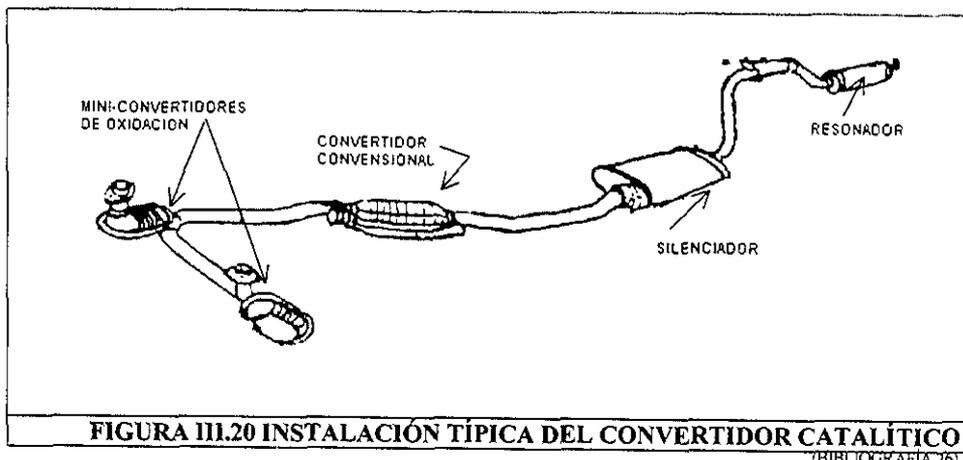
III.3.2.3 CONVERTIDORES CATALÍTICOS

Se han hecho grandes esfuerzos para reducir las emisiones del escape del motor. Sin embargo, cantidades excesivas de contaminantes aun abandonan el motor por el sistema de escape, para evitar estos contaminantes desde 1975 el dispositivo más importante para enfrentar este problema ha sido el convertidor catalítico. Los fabricantes de automóviles en los Estados Unidos conocieron los convertidores catalíticos en 1973, dos años antes de ser instalados en los primeros vehículos.

**FIGURA III.19 CURVA DE VOLTAJE DE UN SENSOR LAMBDA**

(BIBLIOGRAFIA 30)

En la figura III.20 podemos observar la colocación típica del convertidor en algunos motores de producción en serie. El funcionamiento y las características de los convertidores catalíticos se verán más adelante.



CAPITULO IV CONVERTIDOR CATALÍTICO

IV.1 INTRODUCCIÓN

Un convertidor catalítico es un reactor químico que cambia la velocidad de una reacción química, pero antes de iniciar el análisis detallado de su funcionamiento es necesario introducirnos en aspectos fundamentales de la catálisis.

IV.2 CATÁLISIS Y CATALIZADOR

La catálisis es una rama de la cinética química que se ocupa del estudio dinámico y termodinámico de las reacciones químicas.⁽³²⁾

Un catalizador es una entidad que cambia la velocidad de una reacción química, tomando parte íntimamente en ella, pero sin llegar a ser un producto.⁽³³⁾

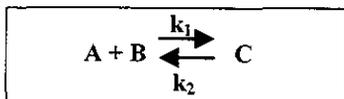
Cuando un catalizador retarda las reacciones se llama catalizadores negativos ó inhibidores.⁽¹⁰⁾

IV.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CATALIZADOR

Las principales características de un catalizador incluyen:⁽³²⁾

El catalizador no puede actuar en reacciones termodinámicas imposibles, esto literalmente significa que un catalizador no hace milagros.

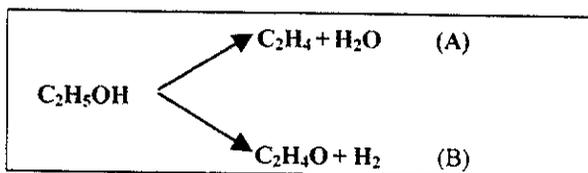
Para una reacción en equilibrio,



el catalizador no modifica el valor de la constante de equilibrio $K_e = k_1 / k_2$. En consecuencia de lo anterior, un aumento de la constante de velocidad en la dirección k_1 es acompañado por uno similar en la reacción inversa k_2 . En un sentido práctico esto quiere decir que un catalizador de una reacción lo es igualmente para la reacción inversa.

El catalizador puede tener un efecto orientador, esto significa que en la función catalítica se observa una variación de la selectividad en un proceso cuando este tiene varias

direcciones termodinámicas posibles, así por ejemplo, el alcohol etílico puede descomponerse según las reacciones siguientes:



(BIBLIOGRAFIA 32)

La utilización de óxido de zinc como catalizador, hace que la descomposición del alcohol tenga lugar casi exclusivamente por la reacción (A), pero si se emplea cobre el producto (B) se produce con mayor extensión.

Un catalizador tiene una vida limitada, sin embargo, en lapsos cortos se puede decir que permanece inalterado, esta característica es de suma importancia para estudios cinéticos ya que el número de moléculas que transforma un catalizador en cada sitio catalítico (número de rotación) generalmente es muy elevado (10 moléculas/sitio), lo cual hace que al cabo de algunas horas el espacio se haya usado miles de veces.

El calor de reacción en un sistema catalítico es el mismo que el correspondiente a uno no catalizado, es decir, la cantidad de energía que desprende ó absorbe una reacción química depende exclusivamente de los reactantes, productos, temperatura y presión que se encuentra el sistema.

En la grafica (a) de la figura IV.1 podemos observar que los productos se encuentran en un nivel energético menor que los reactivos, esto significa que durante la reacción se desprendió energía generalmente en forma de calor, a esta reacción se le conoce como exotérmica, pero en la (b) el fenómeno es inverso considerándola como endotérmica.

En general, el calor de una reacción a presión y temperatura constante puede expresarse de la siguiente forma:

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \sum \Delta H_{\text{productos}} - \sum \Delta H_{\text{reactantes}}$$

(BIBLIOGRAFIA 33)

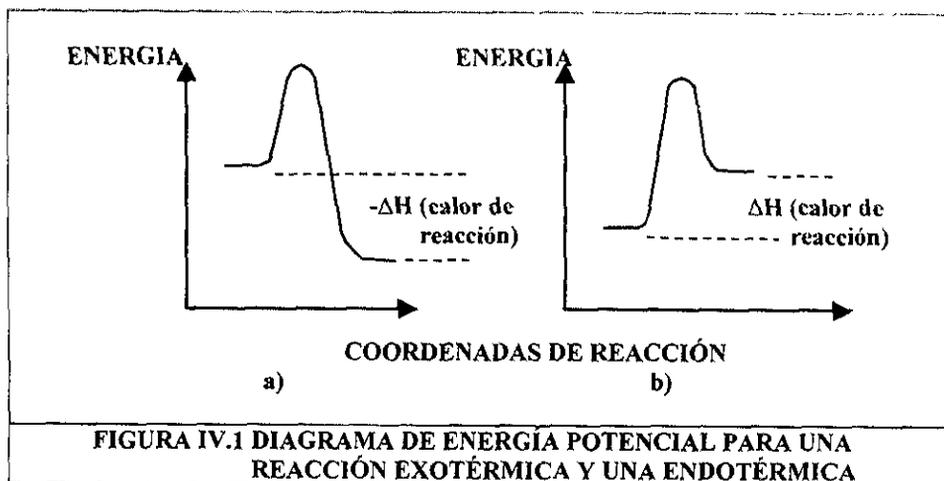


FIGURA IV.1 DIAGRAMA DE ENERGÍA POTENCIAL PARA UNA REACCIÓN EXOTÉRMICA Y UNA ENDOTÉRMICA

(BIBLIOGRAFÍA 32)

IV.2.2 CLASIFICACIÓN

Las reacciones catalíticas se clasifican en homogéneas, heterogéneas y enzimáticas.

Las dos primeras se atienden según el número de fases presentes del reactivo (gas-líquido-sólido) y la última en reacciones biológicas (seres vivos).

IV.2.2.1 HOMOGÉNEA

La catálisis homogénea tiene lugar cuando los reactivos y el catalizador se encuentran en la misma fase, generalmente la líquida. Entra en esta rama, el caso en que uno de los reactivos es un gas y que los otros con el catalizador, pertenecen a una misma fase líquida. Debido a la solubilidad del gas, la transformación se produce en todo el líquido y no en la interfase gas-líquido.

En esta catálisis la naturaleza de los productos no influye, las velocidades son generalmente elevadas, son los venenos inofensivos y el estudio de los mecanismos de reacción más fáciles por el hecho de poder aislar las especies intermedias y por lo tanto de mayor importancia industrial.

La velocidad de la reacción en una catálisis homogénea se expresa en moles de una sustancia producida ó consumida por unidad de tiempo y unidad de volumen de la mezcla reaccionante (que naturalmente lleva el catalizador incorporado).

$$v = \frac{m}{V t}$$

(33)

Donde : v- velocidad de reacción
 m- representa los moles
 V- es el volumen
 t- el tiempo.

IV.2.2.2 HETEROGÉNEA

Una catálisis heterogénea es cuando todas las sustancias reactivas con el catalizador están en diferentes fases. El catalizador es insoluble en los sistemas químicos en los cuales provoca la transformación. En estas reacciones existen dos fases y una superficie, la reacción se lleva a cabo en esta espacio. Como la reacción química se realiza en dos dimensiones, al menos uno de los reactivos debe ser absorbido químicamente.

La actividad, la selectividad y la vida del catalizador dependerán en forma directa de la naturaleza de la fase activa utilizada, generalmente sólida.

La catálisis, heterogénea esta limitada al estudio de reacciones provocadas en las moléculas por el campo de fuerza del sólido y se limita a algunos ángstrom ($A = 1 \times 10^{-10}$ m), debe hacerse notar que la mayor parte de los catalizadores sólidos son metales, óxidos, sulfuros metálicos y sales con alta energía reticular (en forma de red).⁽³²⁾

IV.2.2.3 ENZIMATICA

Las reacciones químicas en los sistemas vivientes son muy variadas y complejas, la catálisis enzimática recibe su nombre de unas moléculas orgánicas que generalmente son proteínas de muy elevado peso molecular y conocidas como enzimas.

Dada la naturaleza de la catálisis enzimática no pertenece al dominio de la homogénea, ya que esta caracterizada por altas selectividades y bajas temperaturas.

Las enzimas reciben su nombre en función de su actividad específica, así por ejemplo: la enzima ureasa, cataliza la hidrólisis de la urea; la amidasa sobre las amidas.

La actividad catalítica de las enzimas es muchísima mas rápida que la de los catalizadores inorgánicos, por ejemplo 1 mol de alcohol hidrogenasa a 25° C transforma por segundo 720 moles de alcohol en ácido acético, mientras que a 200° C el platino (Pt) transforma de 0.1-1 mol de alcohol por mol de catalizador. A 0° C un mol de catalasa

descompone 200 000 moles de H_2O_2 por segundo en tanto que el inorgánico más activo por cada mol de Pt. descompone a $20^\circ C$ de 10 a 80 moles de H_2O_2 por segundo.⁽³²⁾

IV.2.3 APLICACIONES INDUSTRIALES

La mayoría de los procesos en catálisis utilizan catalizadores sólidos en donde sus principales elementos se componen de una fase activa, un soporte y el promotor.

IV.2.3.1 FASE ACTIVA

La fase activa es la responsable de la actividad catalítica, y se caracteriza por que solo ella puede llevar a cabo la reacción en condiciones establecidas. Sin embargo, esta fase puede tener un costo muy elevado en el caso de los metales nobles (platino, rodio, paladio) ó puede ser muy sensible a la temperatura, generalmente se requiere de un soporte para dispersarla, estabilizarla y proporcionarle buenas propiedades mecánicas.⁽³²⁾

IV.2.3.2 SOPORTE

El soporte es la matriz sobre la cual se deposita la fase activa, que le permite optimizar sus propiedades catalíticas. Puede ser poroso y por lo tanto presentar una elevada área superficial, esto es importante si la reacción química es lenta. En la tabla IV.1 se muestran las áreas superficiales de algunos soportes, además, debe tener resistencia mecánica elevada si se usan fluidos a velocidad elevada, y soportar altas temperaturas, en algunas ocasiones el soporte actúa como fase activa nombrándolos catalizadores másicos.

La forma física de los soportes esta definida por las condiciones de reacción y del reactor, generalmente puede ser esferas, palitos, anillos, mallas, hojuelas ó monolitos en forma de panal.

TABLA IV.1 AREAS SUPERFICIALES DE ALGUNOS SOPORTES			
ÁREA SUPERFICIAL BAJA ($<10m^2/gr$)		ÁREA SUPERFICIAL ALTA ($>10m^2/gr$)	
NO POROSOS	POROSOS	NO POROSOS	POROSOS
VIDRIO $\alpha-Al_2O_3$ SiC	KIESELGURHR PIEDRA PÓMEZ	$SiO_2-Al_2O_3$ CARBÓN TiO_2 ZnO	ARCILLAS Al_2O_3 MgO SiO_2

(BIBLIOGRAFIA 32)

Algunos de los soportes mas utilizados incluyen, aluminas, sílicas, carbón, zeolitas, sílice-aluminas, virutas metálicas, tierras diatomáceas, carborundo (carburo de silicio).

IV.2.3.3 PROMOTOR

El promotor es aquella sustancia que incorporada a la fase activa ó al soporte en pequeñas proporciones, permite mejorar las características de un catalizador en cualquiera de sus funciones ya sea de actividad, selectividad ó estabilidad. Se conocen dos tipos de promotores: los texturales que contribuyen a dar mayor estabilidad a la fase activa y los electrónicos que aumentan su actividad.

Existen otras sustancias denominadas venenos cuyo efecto es inverso, es decir, disminuyen la velocidad de reacción, habitualmente los venenos se absorben sobre el catalizador fuertemente impidiendo que las moléculas de los reactivos tengan oportunidad de transformarse sobre los centros activos. En otras ocasiones los venenos no solo originan la eliminación de centros catalíticos si no que pueden actuar como nuevos centros en donde catalizan la reacción a productos indeseables.

IV.2.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Entre los factores que determinan de una forma microscópica el diseño de un nuevo catalizador destacan cuatro: la actividad, selectividad, estabilidad, y la desactivación, sin embargo, para poder diseñar un nuevo catalizador se deben considerar los factores que aparecen en la tabla IV.2

TABLA IV.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL CATALIZADOR		
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	CARACTERÍSTICAS DE PREDICCIÓN	CARACTERÍSTICAS DE INFLUENCIA
ACTIVIDAD SELECTIVIDAD ESTABILIDAD DESACTIVACIÓN ÁREA SUPERFICIAL PROPIEDADES QUÍMICAS PROPIEDADES FÍSICAS PRECIO Y DISPONIBILIDAD	ELECTRÓNICO GEOMÉTRICO	GRADO DE DISPERSIÓN

(BIBLIOGRAFÍA 33)

IV.2.4.1 ACTIVIDAD

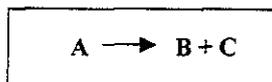
La actividad es la velocidad de reacción expresado en moles transformados por unidad de tiempo y por gramo de catalizador, se considera un catalizador optimo cuando se transforma una mayor cantidad de producto en menor temperatura, presiones bajas, además de minimizar la degradación térmica, el aporte de energía y reducción del tamaño del reactor.

IV.2.4.2 SELECTIVIDAD

La selectividad de un catalizador esta relacionada con el efecto orientador de la reacción en una dirección preferente. Esta cualidad es debida a que el catalizador abre nuevos caminos de reacción con menor energía de activación, los cuales desembocan en una mayor cantidad del producto ó en nuevos productos, un catalizador es más selectivo mientras produzca mayor cantidad del producto deseado.

La selectividad se puede definir como la cantidad de producto constituido en función al total de reactante transformado y de la velocidad de formación de productos

En la reacción:



la selectividad hacia B será:

$$S_B = \frac{\text{velocidad B}}{\text{velocidad B} + \text{velocidad C}}$$

(32)

Valores bajos de selectividad suponen perdida de materia prima, y problemas en la eliminación de productos indeseables incrementando los costos de operación.

IV.2.4.3 ESTABILIDAD

La estabilidad de un catalizador es la variable que se pretende optimizar en su aplicación industrial y que se relaciona directamente con la vida útil del catalizador en función de la cantidad de productos formados, de manera que el mínimo tiempo deba permitir amortizar el costo, la disponibilidad del catalizador y la operación del proceso. Si bien en las condiciones de uso de los catalizadores en la actualidad casi todos estos sobrepasan largamente este mínimo de vida útil se requiere de una serie de prevenciones para evitar que el catalizador se desactive prematuramente.⁽³²⁾

IV.2.4.4 DESACTIVACIÓN

El fenómeno de desactivación esta intimamente ligado a la estabilidad y del tiempo de uso del catalizador, esta variación decreciente y continua puede ser realizada lentamente llamada envejecimiento, en tanto un cuanto brusco generalmente producida por envenenamiento, una tercera forma es la originada por codificación, es decir, la formación de depósitos de carbón sobre la superficie del catalizador, y la última es por la sinterización de la masa catalítica.

Diversos fenómenos de desactivación son parcialmente reversibles, en estos casos mediante tratamientos de regeneración ó reactivación, se puede conseguir la recuperación total ó parcial de las propiedades iniciales del catalizador.

IV.3 CONVERTIDOR CATALÍTICO

Anteriormente hablamos de las regulaciones ambientales y de los diferentes mecanismos para combatir la contaminación, además de que el principal agente anticontaminante en nuestros días es el convertidor catalítico, pasemos entonces a ver una pequeña reseña histórica del convertidor.

IV.3.1 ANTECEDENTES DEL CATALIZADOR

Los primeros diseños de los convertidores catalíticos se hicieron en 1969, en los que solo se controlaba el CO y los HC, es decir, catalizadores de oxidación que trabajaban con exceso de aire, comúnmente llamados de dos vías.⁽³²⁾

El prototipo Avenger modelo 1973 de Chrysler fue el primer automóvil al que se le instaló un convertidor catalítico de dos vías que contenía una mezcla de rodio (Rh) y platino (Pt) como equipo de norma siendo el primer automóvil en cumplir con todas las regulaciones anticontaminantes existentes.⁽¹⁴⁾

En 1974 las regulaciones de California solicitaron que los niveles de HC y CO no excedieran los 5.1 y 62.4 gr/km (gramos por kilómetro) respectivamente.

Para 1975 estos reglamentos se hicieron aun más estrechos, requiriendo de solo 1.44 gr/km para HC y 14.4 gr/km en CO, fue entonces necesario instalar en todos los automóviles nuevos modelo 1975 el convertidor catalítico de dos vías el cual contenía platino (Pt) y paladio (Pd).⁽²⁶⁾

Para 1980 en California y 1981 en el resto de los Estados Unidos, las leyes restringieron a 625 miligramos/kilometro las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), el sistema de recirculación de gases no fue suficiente para reducirlos, fue entonces necesaria la

introducción de los convertidores de triple acción, con reducción de NOx y la oxidación de CO y HC.

IV.3.2 DEFINICIÓN DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO

Un convertidor catalítico es un instrumento que contiene en su interior materiales catalíticos que aceleran y modifican las reacciones químicas, con el fin de obtener productos no perjudiciales al medio ambiente. Generalmente esta instalado entre el múltiple de salida y el moile del sistema de escape de los automóviles, es de forma circular ú ovalada.⁽³⁶⁾

Los principales gases que tiene control el convertidor catalítico son los HC, el CO y los NOX, transformándolos a vapor de agua, CO₂ y N₂. En condiciones ideales, un convertidor catalítico reduce más del 97% de las sustancias toxicas.⁽³⁴⁾

IV.3.3 FUNCIONAMIENTO QUÍMICO DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO

El funcionamiento de los convertidores catalíticos, se efectúa en el sitio activo en donde el material catalítico tiene las fuerzas electrónicas para fijar las moléculas en la superficie a través de una adsorción química ó quimisorción. Es importante no confundir la adsorción que es la fijación de la molécula en la superficie de un sólido y la absorción que pone en juego el interior del sólido.⁽³²⁾

Algunas de las características de la quimisorción son:⁽³²⁾

Hay especificidad, sólo algunos sitios superficiales adsorben ciertas moléculas.

Hay una interacción de los estados electrónicos del adsorbato (gas) y del adsorbente (sólido), lo que se traduce en la formación de un verdadero enlace químico.

Como resultado de la reacción química superficial (rompimiento y formación de enlace), se desprende una cantidad elevada de calor.

La quimisorción requiere del suministro de una cierta cantidad de energía de activación para iniciar el proceso de catálisis, la temperatura de activación ó temperatura light-off para el convertidor catalítico es de 250° C, en donde su eficiencia es del 50%.⁽³⁷⁾

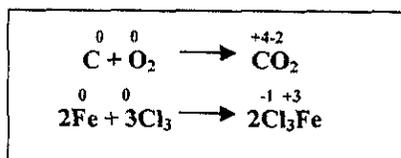
La exigencia básica del convertidor catalítico es que adsorba químicamente las moléculas en el rango deseado de temperatura, que la reacción ocurra de manera eficiente, y después de que los productos han alcanzado un nivel inferior de energía sean des-adsorbidos a la misma temperatura, liberando el sitio activo para reacciones posteriores, si esto no ocurre se envenenará el sitio activo.⁽¹⁴⁾

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

Después que son adsorbidas las moléculas de los gases contaminantes, se efectúa el proceso de oxidación ó reducción, dependiendo del tipo de convertidor que se trate. Sabemos que cuando un ion gana electrones se produce una reducción y cuando los pierde es una oxidación.⁽¹⁶⁾

Originalmente el termino de oxidación significa la adición de oxígeno a un elemento, sin embargo, el hierro se combina con el cloro con mayor facilidad que con el oxígeno, y la reacción evidentemente tiene la misma naturaleza que una oxidación.⁽¹⁷⁾

La definición del proceso de oxidación se ha ampliado para incluir cualquier proceso en el cual el numero de oxidación de un elemento aumenta, por ejemplo:



(17)

En las reacciones anteriores el carbón y el hierro se oxidan, lo que significa que pierden electrones, adquiriendo una carga positiva, esto es, en la oxidación del hierro su numero de oxidación cambia de 0 a +3, y del carbón de 0 a +4.

Siempre que un elemento se oxida otro sufre una disminución en su numero de oxidación, así el oxígeno y el cloro en las reacciones anteriores han experimentado una disminución de su numero de oxidación. Por lo tanto, cuando en una reacción el numero de oxidación de un elemento disminuye se dice que el elemento se ha reducido.⁽¹⁷⁾

Cuanto mas fácilmente pierda electrones un ion tanto mas energético será como agente reductor, y cuanto más fácilmente gane electrones el ion, tanto mas energético será como agente oxidante. El potencial entre un electrodo de platino y una solución mide la fuerza oxidante o reductora de la solución, estos potenciales se llaman potenciales de oxidación-reducción ó potenciales redox

Por ejemplo, cuando el CO es quimiadsorbido, se inicia el proceso de oxidación, debilitando las ligaduras internas, ya que cierta cantidad de energía es compartida con la superficie del metal catalizador (agente oxidante), como otras moléculas son fácilmente atraídas tales como las de oxígeno, se efectúa la reacción entre CO y O₂ rápida y sencillamente.⁽¹⁴⁾

Los gases catalizables se clasifican como polares y no polares.

IV.3.3.1 POLARES

Los gases contaminantes polares tienen las siguientes características:

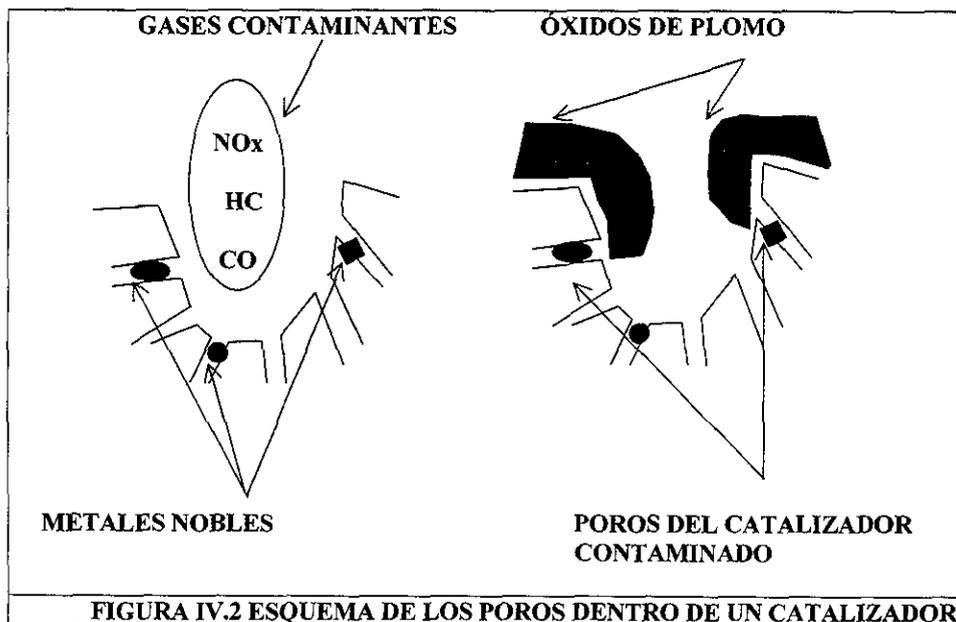
TABLA IV.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES POLARES	
ALTAMENTE POLARES	BAJAMENTE POLARES
FACILMENTE ADSORBIDOS	DIFÍCILES DE ADSORVER
DIFÍCILES DE DES-ADSORVER	FÁCILES DE DES-ADSORVER
MENOS ELABORADO CATALITICAMENTE	MAS TRABAJADOS CATALITICAMENTE

(BIBLIOGRAFÍA 33)

Un ejemplo de un gas con alta polaridad es el CO que es fácil de adsorber y difícil de catalizar. desafortunadamente el CO es más polar que el oxígeno en condiciones de mezcla rica, esto tiende a cubrir las partes activas del catalizador, impidiendo que el oxígeno sea adsorbido y provocando que se atrase la reacción, este fenómeno se llama envenenamiento por CO.⁽¹⁴⁾

En cambio el CO₂ tiene baja polaridad por lo tanto es difícil de adsorber, además, se necesita de un proceso catalítico muy alto, y es fácil de desadsorber.

Los hidrocarburos son más difíciles de manipular catalíticamente pero el acetileno que esta en los gases de escape es un compuesto completamente polar y bajo ciertas condiciones es fuertemente absorbido cubriendo el sitio activo, interfiriendo con la reacción. En la figura IV.2 (a) observamos los poros del catalizador limpios en la (b) los poros contaminados.⁽¹⁴⁾



IV.3.3.2 NO POLARES

Estos compuestos por no ser polares, son difícilmente absorbidos, y químicamente menos catalizables. Por ejemplo, el metano es un hidrocarburo que no es polar y muy difícil de oxidar, de ahí que un convertidor catalítico para gas L.P. ó gas natural tenga normalmente una carga de 40 gr de metales preciosos en comparación con solo 15 gr en uno a gasolina.⁽³⁵⁾

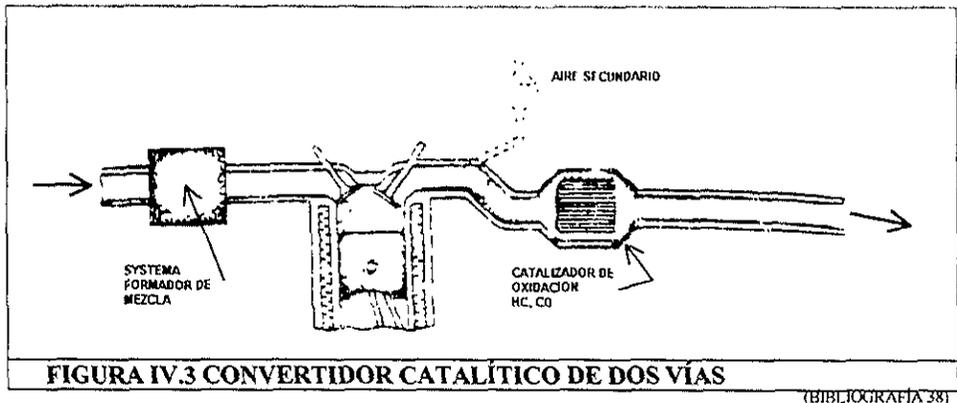
IV.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS

Un convertidor se clasifica según su numero de vías, el material activo, ver tabla IV.4

TABLA IV.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS	
NUMERO DE VÍAS	2 VÍAS 3 VÍAS + SENSOR DE OXIGENO 3 VÍAS + AIRE PRE-CONVERTIDOR DE DOS VÍAS
MATERIAL ACTIVO Y PROMOTOR	METALES NOBLES METALES NO NOBLES
TIPO DE SOPORTE	PELESTIS DE CERÁMICA MONOLITOS DE CORDIERITA METÁLICOS VIRUTAS
CUBIERTA PROTECTORA	ACERO INOXIDABLE ASBESTOS
TIPO DE COMBUSTIBLE	DIESEL GASOLINA GAS L.P.

IV.3.4.1 DOS VÍAS

El convertidor catalítico de dos vías, se usó de 1975 a 1980, solo contiene una cama catalítica (divisiones) y se limita a la oxidación de CO y HC como el mostrado en la figura IV.3. Para poder utilizar este tipo de convertidor es necesario controlar la relación aire/combustible y el retardo de chispa, en esos años los óxidos de nitrógeno NO_x se controlaban con la recirculación de los gases de escape, típicamente esos convertidores contenían 1.417 gr. de metal noble por convertidor, con una relación de 5:2 de platino-paladio.⁽²⁶⁾



El 90% del platino se obtiene de nuevas minas abiertas en Suráfrica y Rusia, cerca de un tercio del platino suplido en los mercados internacionales cada año es usado en los convertidores catalíticos.⁽³⁹⁾

Para el buen funcionamiento de este convertidor era necesaria la utilización de gasolina sin plomo, su principal soporte eran los pellets de alumina con un diámetro de 1/8 pulgada y el monolito de material cerámico como la cordierita ($2Mg \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$), dado que el motor funcionaba con sistema de carburación normal, y debido a las estrictas leyes de protección al ambiente se dejaron de utilizar en el año de 1980, para proceder con los sistemas de tres vías.

IV.3.4.2 TRES VÍAS + AIRE

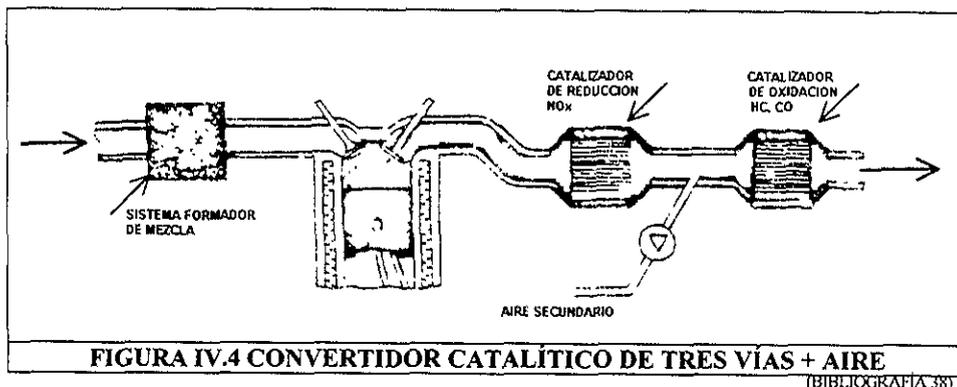
Los convertidores catalíticos de tres vías realizan la oxidación de los HC y CO, además, reduce el NOx a N₂. Este convertidor tiene dos camas catalíticas en serie. En la primera se realiza la reducción y en la segunda la oxidación.

Para que una catálisis reductora trabaje mas eficientemente debe estar en un ambiente pobre de oxígeno, mientras que una de oxidación requiere un ambiente rico en oxígeno, es por eso que los fabricantes ponen la cama reductora primero que la cama oxidante y entre las dos se inyecta aire, en la figura IV.4 se puede ver un modelo simplificado del funcionamiento de este catalizador.

El problema que tiene este catalizador es que produce en el primer lecho amoniaco (NH₃), que después que pasa por el segundo catalizador se vuelve a transformar en NOx. No obstante resulta posible una reducción del 80% del NO. Otro inconveniente es que el motor tiene que funcionar con una mezcla pobre con un coeficiente de aire lambda de aproximadamente 0.9⁽¹⁴⁾

El principal agente de reducción catalítica de los óxidos de nitrógeno es el Rodio (Rh), además del paladio (Pd) y platino (Pt). Una proporción utilizada en este tipo de convertidores es de 2.83 gr de Pt, 0.48 gr de Rd y 2.83 gr de Pd.⁽²⁶⁾

El aire secundario es proporcionado por una bomba centrífuga accionada por bandas trapezoidales en el motor, que anteriormente hablamos.



IV.3.4.3 TRES VÍAS + SENSOR LAMBDA

En los convertidores de tres vías + sensor lambda las reacciones oxi-reductivas se realizan simultáneamente en una sola cámara catalítica.

Además del sensor de oxígeno es necesaria la utilización de una computadora a bordo, y de un sistema de inyección electrónica de combustible. En la figura IV.5 hay un ejemplo de este tipo de sistema.

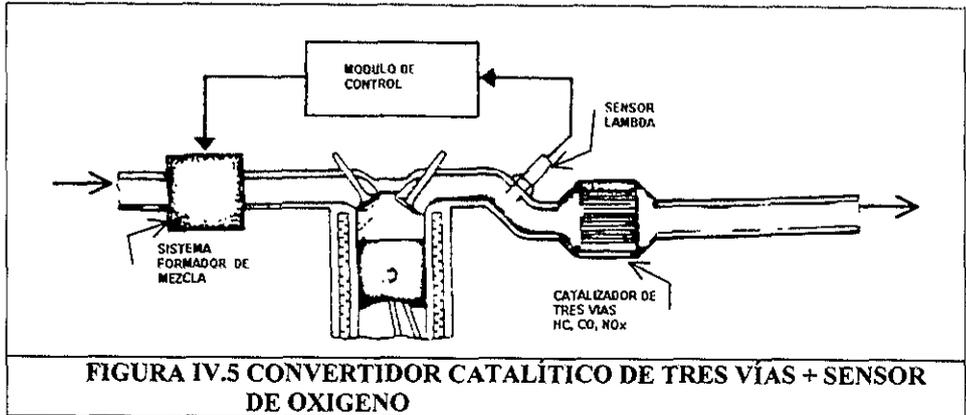
IV.3.4.4 PRE-CONVERTIDOR DE DOS VÍAS

Recientemente se está utilizando un convertidor de dos vías de tamaño pequeño, que limita la cantidad de emisiones contaminantes del arranque en frío del motor, se encuentra instalado inmediatamente después del múltiple de escape con el fin de obtener un rápido calentamiento.⁽⁴⁰⁾

IV.3.4.5 MATERIALES ACTIVOS

Los materiales activos son los que efectúan la conversión de los gases contaminantes a sustancias menos tóxicas. Se han desarrollado más de mil catalizadores utilizando

combinaciones de 36 metales individuales, en aproximadamente 20 tipos de soportes. Los materiales activos que utilizan los convertidores se clasifican en nobles y no nobles.⁽⁹⁾



(BIBLIOGRAFIA 38)

IV.3.4.5.1 CATALIZADORES CON METALES NOBLES

Son los de mayor uso en la actualidad ya que se logran conversiones del 90% para el CO, NO_x y HC de los gases de escape. Los metales utilizados con mayor capacidad catalítica son el platino (Pt), el paladio (Pd), el rodio (Rh), el rutenio (Ru), y el iridio (Ir), y en la mayoría de los convertidores se usa la combinación uno, dos ó tres de estos metales. Para su preparación se utilizan sales solubles de los metales mencionados y se impregnan en soportes monolíticos recubiertos de una capa de alumina, se secan y se calcinan a 500° C, durante varias horas para obtener los óxidos soportados (PtO₂, Rh₂O₃, PtO), al finalizar la calcinación se tiene un porcentaje en peso de 0.01 a 3% del metal noble.⁽⁹⁾

Los metales nobles tienen alta estabilidad térmica dependiendo del soporte utilizado, alcanzando conversiones mayores del 80% a bajas temperaturas (300 - 400° C). Estas ventajas se obtienen cuando se utilizan soportes como la alumina, óxido de titanía, y algunos otros. La variación de gasto no influye en este tipo de metales. La actividad para la oxidación del CO es mayor que en los HC, por lo que cuando se envenenan dejan de oxidar primero los HC, dada la polaridad de los gases.⁽⁹⁾

La facilidad de oxidación decrece en el siguiente orden para los hidrocarburos, acetileno, aromáticos, olefinas, parafinas y el más difícil es el metano.

Para los procesos de reducción de los NO_x el Pt y el Pd no son tan efectivos, por lo tanto es necesario utilizar rutenio (Ru), rodio (Rh), ó el iridio (Ir).

Las desventajas que tiene este tipo de metales, son que se envenenan con el azufre (S), el fósforo (P), y la gasolina con plomo (Pb), además de su alto costo por no existir grandes yacimientos mineros.

IV.3.4.5.2 CATALIZADORES CON METALES NO NOBLES

Este tipo de catalizador tiene la ventaja de poder ser masicos ó ser soportados.

Algunos de los metales utilizados son las aleaciones de hierro, los cuales tienen buena actividad para la oxidación de los HC y CO. Y en el caso de la reducción de los NO_x se han utilizado las aleaciones de Cu y Ni como es el caso del monel (Cu/Ni = 30/70), el inconel (78/15/7 = Ni/Cr/Fe) con buenos resultados.⁽⁹⁾

Sus desventajas principales son las altas temperaturas de operación, arriba de los 800° C en su máxima eficiencia y prematura pérdida de actividad.

En otros casos los metales van soportados sobre materiales cerámicos por ejemplo el cobre (Cu), el cromo (Cr), el manganeso (Mn), el vanadio (V), el hierro (Fe), el cobalto (Co), el molibdeno (Mo), el níquel (Ni), se combinan en diferentes grupos para acentuar las propiedades catalíticas, ya sea en reducción ó en oxidación. Esto se puede ver claramente en la siguiente tabla IV.5

Para recalcar las propiedades catalíticas de los metales no nobles se han hecho mezclas de manera que se obtenga simultáneamente actividades oxidantes y reductoras, formándose sistemas con dos ó tres metales, esto mejora la estabilidad térmica ya que muchos de los metales pierden la actividad conforme se eleva la temperatura.

TABLA IV.5 COMPUESTOS UTILIZADOS EN LA PREPARACIÓN DE CATALIZADORES			
COMPUESTOS PARA LA OXIDACIÓN DE		COMPUESTOS PARA LA REDUCCIÓN DE	
CO	HC	NO _x	SO
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	WO-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	
MnO ₂	CoFe ₂ O ₄		
V ₂ O ₅	CoCr ₂ O ₄		
Fe ₂ O ₃	FeAl ₂ O ₄		
Co ₃ O ₄	Ni(NO ₃) ₂		
	ZnCr ₂ O ₄		

(BIBLIOGRAFIA 9)

En el reporte de investigación realizado por Violeta Múgica y Marina Moran, dan un máximo de 50% de eficiencia máxima en un motor de banco con la utilización de sistemas catalíticos de Cr-Cu-Ni y V-Cr-Ni, desactivándose después de 10 horas de trabajo.⁽⁹⁾

En la evaluación realizada por Laura Rueda a convertidores con Mo-Cu-Ni y Cr-Cu-Ni como material activo, muestran una máxima eficiencia de 60% a 450° C y 2000 rpm en un motor de un sedan, pero su vida máxima promedio de este catalizador era de 80 hrs.⁽¹⁸⁾

Este tipo de convertidores tiene la ventaja de ser muy baratos, en comparación de los que tienen metales nobles, no siendo así en la durabilidad y la eficiencia.

IV.3.4.5.3 PROMOTORES UTILIZADOS EN LOS CONVERTIDORES

Como se vio en el capítulo de catálisis, un promotor mejora las características de los catalizadores.

En un principio para reducir los niveles de NO_x, se incluyó en los catalizadores el rodio, pero se tuvo la dificultad de que se producía amoníaco (NH₃), los diseñadores se vieron en la necesidad de mantener la relación aire/combustible cercana a la estequiométrica, o utilizar un material promotor en los convertidores.

El promotor que más se utiliza en nuestros días es el cerio (Ce), ya que tiene las propiedades de estabilizar la superficie del catalizador, almacena oxígeno durante las mezclas ricas, promoviendo la reacción de los HC en vapor de agua.⁽¹⁴⁾

IV.3.4.6 CUBIERTA PROTECTORA

La cubierta protectora son las estructuras metálicas dentro de las cuales se encuentran los metales catalizadores y sus soportes, de manera que su potencial catalítico sea lo más alto, y que las condiciones exteriores no influyan en su funcionamiento.

El diseño de la estructura debe permitir un flujo uniforme de los gases de escape, además de asegurar la activación de las reacciones químicas que se llevan a cabo en la cama catalítica. Debe ser lo suficientemente aislante para que el catalizador se mantenga en los intervalos óptimos de temperatura. La forma y el tamaño deben ser adecuado para que el tiempo de residencia de los gases sea suficiente para una máxima conversión.

El protector debe ser lo más ligero y resistir la corrosión del ambiente. Los materiales que se utilizan para este tipo de protección son:

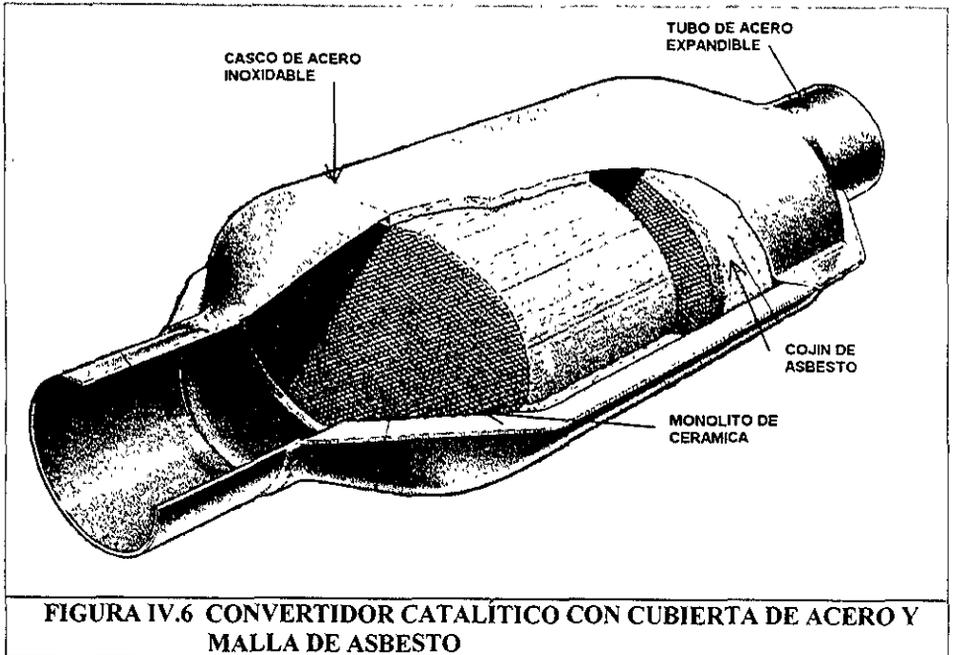


FIGURA IV.6 CONVERTIDOR CATALITICO CON CUBIERTA DE ACERO Y MALLA DE ASBESTO

(BIBLIOGRAFIA 42)

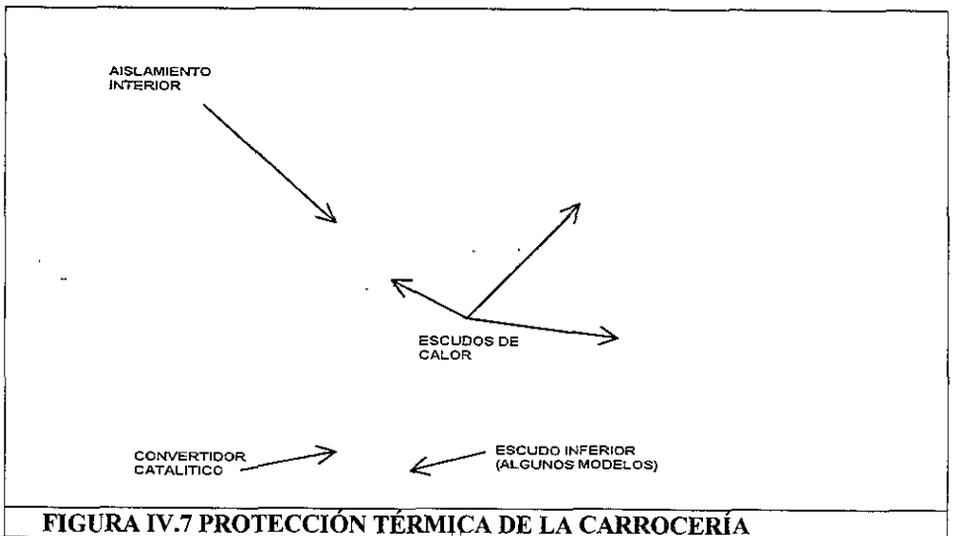


FIGURA IV.7 PROTECCIÓN TÉRMICA DE LA CARROCERÍA

(BIBLIOGRAFIA 26)

Se están realizando investigaciones para reducir un 70% las emisiones de NOx y HC que producen los motores diesel, esto agregando 3% de urea (carbamida) en el sistema de inyección, este sistema tiene una gran aplicación en países europeos en donde el costo de los combustibles es mas alto.⁽⁴³⁾

Los motores con conversión a gas L.P. ó gas natural, les están instalando convertidores con mas densidad de metales nobles, dado que los hidrocarburos que manejan son menos catalizables.

CAPITULO V FABRICACIÓN Y LEGISLACIÓN

V.1 INTRODUCCIÓN

En México existe una regulación que fija las características y los porcentajes de eficiencia de conversión de los convertidores catalíticos, además de establecer las obligaciones de los fabricantes e importadores.

V.2 ACUERDO

Este acuerdo fue dictado por las Secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología, de Energía, Minas e Industria Paraestatal y de Comercio y Fomento Industrial, con el fin de instaurar las responsabilidades que deben cumplir los fabricantes y talleres que instalan los convertidores catalíticos de repuesto.

En este convenio se establecen las siguientes definiciones.

V.2.1 CARGA TOTAL

Es el peso total de los metales activos contenidos en el núcleo cerámico, expresado en gramos.⁽⁴⁴⁾

V.2.2 CONVERSIÓN

Es la transformación de los HC, CO y NO_x provenientes de los motores de combustión interna en sustancias menos agresivas al medio ambiente, por medio de reacciones químicas de oxido-reducción.⁽⁴⁴⁾

V.2.3 CONVERTIDOR CATALÍTICO

El Convertidor catalítico es un dispositivo reductor de HC, CO y NO_x, compuesto por un núcleo cerámico con baño de alumina impregnado con metales activos como platino, paladio y rodio y que se alberga en un recipiente de acero inoxidable.⁽⁴⁴⁾

V.2.4 NÚCLEO CERÁMICO

Es un cuerpo de cerámica que contiene alrededor de 5 000 canales donde fluyen los gases contaminantes, cuya superficie interior es de alrededor de 3m², misma que con la

aplicación de una capa de los metales activos incrementa 7 000 veces la superficie efectiva de la catálisis.⁽⁴⁴⁾

IV.2.5 RELACIÓN

Relación de los pesos de cada uno de los metales activos contenido en el núcleo cerámico del convertidor catalítico, expresado por tres números, correspondiendo el primero al platino, el segundo al paladio y el tercero al rodio.⁽⁴⁴⁾

IV.2.6 VOLUMEN

Volumen del núcleo cerámico expresado en centímetros cúbicos.⁽⁴⁴⁾

IV.2.7 VOLUMEN DE DESPLAZAMIENTO

Es el volumen del cilindro estando el pistón en el punto muerto inferior, incluyendo la cámara de compresión, multiplicada por el número de cilindros del motor.⁽⁴⁴⁾

IV.2.8 EFICIENCIA

La eficiencia de conversión se obtiene usando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{V_{sc} - V_{cc}}{V_{sc}}$$

(44)

Donde:

- E_c = Porcentaje de eficiencia de conversión
- V_{sc} = valor de las emisiones del vehículo sin convertidor
- V_{cc} = valor de las emisiones del vehículo con convertidor

V.3 PROGRAMA INTEGRAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES (PIREC)

El Programa de Verificación Vehicular Obligatoria para 1999 en su segundo semestre estableció que para obtener la calcomanía cero en los vehículos modelo 1993

deberán de acreditar la reposición del convertidor catalítico certificado por el programa PIREC.⁽⁴⁵⁾

El programa PIREC establece los requisitos que deben cumplir los talleres, distribuidores y fabricantes de convertidores catalíticos de tres vías.⁽⁴⁶⁾

V.3.1 FABRICANTES

Las empresas fabricantes, armadoras y distribuidoras de convertidores catalíticos de tres vías que se acrediten dentro del programa PIREC deben cumplir los siguientes puntos:⁽⁴⁶⁾

- Certificado del Instituto Mexicano del Petróleo ó del Instituto Nacional de Ecología referidos a la eficiencia y funcionamiento de los convertidores catalíticos.
- Constancia de certificación QS-9000 3ª edición ó su equivalente ISO-9000 de los fabricantes de sustratos catalíticos.
- Descripción técnica de los convertidores catalíticos a acreditar, incluyendo diagramas de ensambladura final, tabla de capacidades y aplicaciones de uso.
- Póliza de garantía por un mínimo de 60 000 km, o dos años lo que ocurra primero en cada uno de los modelos acreditados.
- Cumplir con las pruebas de sobrepresión, corrosión externa, cámara salina, choque térmico (inmersión en agua), transferencia de calor externo, fugas y durabilidad (ciclo térmico y vibración en caliente), además de las eficiencias mínimas establecidas anteriormente.
- Los fabricantes deberán llevar a cabo la prueba FTP 75 (federal test procedure 1975) para los convertidores catalíticos que desean obtener la acreditación. En donde los niveles de contaminantes no deben exceder 100 ppm de HC, 1% de CO y 800 ppm de NOx, lo que equivaldría la calcomanía cero en la verificación.

En la tabla V.1 se muestran las eficiencias de conversiones mínimas, la carga total y la relación de metales establecidos por el programa PIREC.

TABLA V.1 CARACTERISTICAS DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE REPUESTO						
VOLUMEN DEL MOTOR EN c.c.	VOLUMEN DEL CONVERTIDOR EN c.c.	CARGA TOTAL gr	RELACION	NIVEL MÁXIMO PERMITIDO DE CONTAMINANTES Y EFICIENCIA MÍNIMA DE CONVERSIÓN EN % PARA		
				HC	CO	NO _x
AUTOMÓVILES A GASOLINA						
HASTA 1800	1235	1.74	5:0:1	0.769 g/km	6.438 g/km	1.25 g/km
DE 1801-3200	1475	2.08	5:0:1			
DE 3201-5900	1988	2.77	5:0:1			
CAMIONES A GASOLINA						
HASTA 1800	1235	1.74	5:0:1	100 ppm	(1%)	800 ppm
DE 1801-5900	2477	3.49	5:0:1	E =70%	E =70%	E =60%
CAMIONES A GAS L.P.						
HASTA 1800	1235	1.74	5:0:1	E =70%	E =70%	E =60%
DE 1801-5900	2477	2.624	5:0:1			

(BIBLIOGRAFÍAS 44,46)

V.3.1.1 US-FEDERAL TEST (FTP 75)

En el ciclo de prueba de la US-Federal Test la corriente de gases de escape diluidos correspondiente a las tres etapas del ensayo que se recogen en tres bolsas.

Los valores de la tabla V.2 se aplican a todos los vehículos nuevos, independientemente de su cilindrada y peso. Se deben mantener estos valores por más de 75000 km.

TABLA V.2 VALORES LIMITE PARA EL CICLO DE PRUEBAS FTP-75					
AÑO MODELO	REGION	CO g/km	HC g/km	NO _x g/km	EVAPORACIÓN g/km
A PARTIR DE 1982	FEDERAL	2.1	0.25	0.6	1.2
	CALIFORNIA	4.3	0.25	0.24	1.2

(BIBLIOGRAFÍA 15)

En la figura V.1 podemos ver el grafico del ciclo de circulación FTP 75 y la instalación del ensayo.

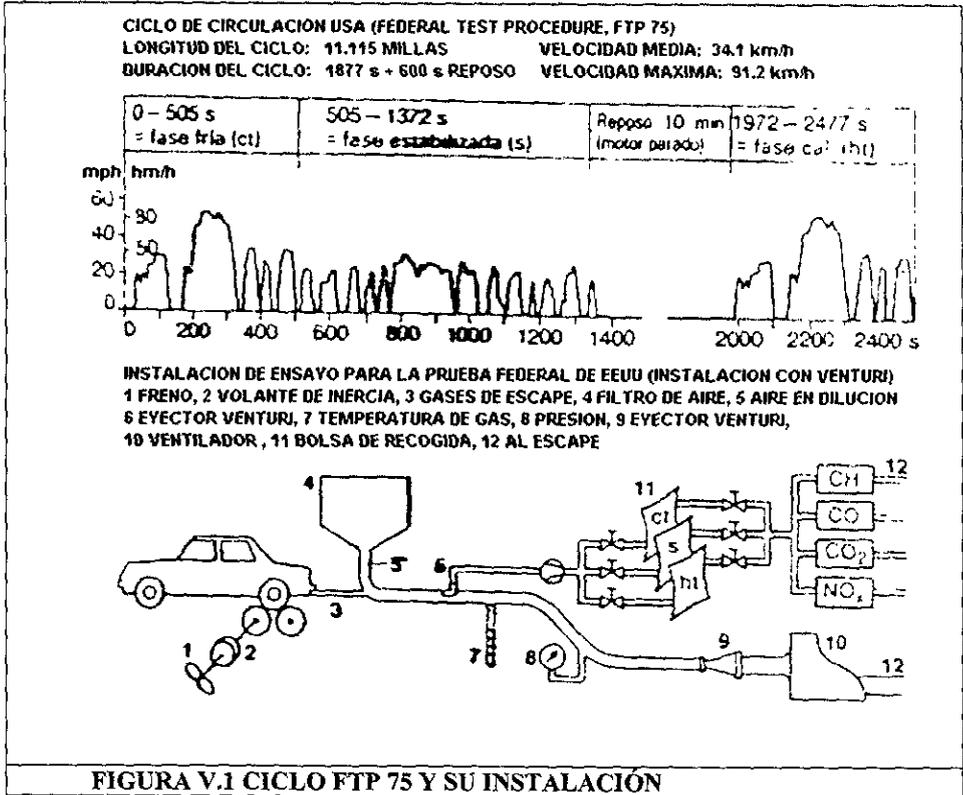


FIGURA V.1 CICLO FTP 75 Y SU INSTALACIÓN

(BIBLIOGRAFÍA 15)

V.3.2 TALLERES

Los talleres de servicio que instalen convertidores catalíticos de repuesto deben contar con un equipo de diagnostico de sensores de oxigeno, un pirómetro y soldadura de micro alambre conocido como soldadura por arco metálico con gas GMAW (gas metal arc welding) ó antiguamente conocida como MIG (metal inert gas).

Además, deberán entregar al cliente una póliza de garantía por escrito, en la cual se describe la marca, el numero de serie, el nombre y dirección del propietario del vehículo, marca del automóvil, año modelo, kilometraje, fecha de instalación, numero de factura, nombre del taller, dirección y firma del instalador

A fin de que el propietario pueda demostrar que realizó el cambio del convertidor ante el verificentro, el taller deberá entregar al cliente un documento en original confirmando lo anterior.

V.3.3 LISTADO DE FABRICANTES, DISTRIBUIDORES E IMPORTADORES CERTIFICADOS POR PIREC

En la tabla V.3, V.4 y V.6 encontramos los diferentes fabricantes, distribuidores e importadores de convertidores catalíticos certificados por el PIREC, además de contar con sus líneas telefónicas y direcciones.

TABLA V.3 FABRICANTES DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS			
RAZÓN SOCIAL	TELÉFONO	FAX	DIRECCIÓN
PEASA	55657022 55676011	53688693	PONIENTE 134 # 854
ARVIN	42383020	42182715	KM 9.5 PARQ. INDS JURICA ORO. ORO
BOSAL DE MÉXICO	55450070	55450070	AV. EJERCITO NAL. # 505 - 903 COL. GRANADA
KATCON	83360148	83360098	AV. SOLIDARIDAD # 1005 COL. SANTA CATARINA
CARTEC	52563160	525631 9880	PICO DE VERAPAZ # 435-703 JARDINES DE LA MONTAÑA
INDUSTRIAS HBM	58221989	582401040	COMONFORT # 33 ATIZAPAN DE ZARAGOZA EDO. DE
EQUIPO INDUSTRIAL AUTOMOTRIZ	57562216	55580651	CALLE No. 5 # 187 COL. PANTITLAN
PROMOTORA ALFA MOTORES	55677022	-----	PONIENTE 134 # 854

(BIBLIOGRAFIA 19)

TABLA V.4 DISTRIBUIDORES DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS			
RAZÓN SOCIAL	TELÉFONO	FAX	DIRECCIÓN
CASIOPEA	57860818	57860123	AV. FERROCARRIL # 114 COL. MOCTEZUMA 2ª SECCIÓN
CONTROL DE EMISIÓN DE GASES	53003996	5300 64 33	URBINO 54 Col. PARQUE INDUSTRIAL DEL. NAUCALPAN
CONVERTIDORE S CATALÍTICOS MEXICANOS	55650137	53901531	FULTON No. 5 A FRACCIONAMIENTO INDUSTRIAL SAN NICOLÁS

			TLANEPANTLA
ERE SYSTEMS	58726504	5872 09 74	CARR. CUAUTITLAN TLALNEPANTLA
HEADERS GARCIA	55616983	5352 47 93	SAN FRANCISCO TETECALA # 51 COL. SAN FRANCISCO TETECALA
AUTOGAS INTERNACIONAL	55877817	5567 06 68	NORTE 45 # 805 C COL. IND. VALLEJO
MÉXICO DIESEL ALLISON	53123502	5300 04 98	PROTÓN 21 FRACC. PARQUE INDUSTRIAL NAUCALPÁN
XTRAC TEC	5661 6519	(52) 56 63 34 09	ALEMANIA # 8 COL. PARQUE SAN ANDRÉS
SISTECO	57542106	5752 58 15	PLAN DE ACATEMPAN # 15 A COL. TICOMAN
MC. CAR	55786400	5578 58 98	NIÑOS HÉROES # 119 COL. DOCTORES
INGENIERÍA EN SISTEMAS DE CARBURACIÓN	55650459	5565 68 12	OTUMBA PONIENTE # 39 COL. LA LOMA TLALNEPANTLA
FORD ZAPATA	55653233	-----	SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ # 25 TLALNEPANTLA
ADVANCE	55688489	-----	PERIFÉRICO SUR 2782 COL. FUENTES DEL PEDREGAL

(BIBLIOGRAFÍA 19)

TABLA V.5 IMPORTADORES DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS			
RAZÓN SOCIAL	TELÉFONO	FAX	DIRECCIÓN
CONSORCIO TERRANOVA	(42)165377	(42)1661 02	AV. DE LA MONTAÑA # 112, MODULO 5 Y 6, PARQUE INDUSTRIAL QUERÉTARO, SANTA ROSA JAUGUERI QRO.
COMERCIALIZA DORA TOOLMEX	56604161	56804373	CALLE #22 COL. OLIVAR DEL CONDE 1ª. SECCIÓN
MZ COMERCIALIZA- CIÓN	56690148	56690151	3ª CERRADA DE LUZ SAVIÑÓN # 13 COL. NARVARTE
TRI-D PRODESA	56915098	56920069	20 DE NOVIEMBRE # 150 COL. EJIDOS DE SANTA Ma. AZTAGUACAN
MEDIOS Y PRO- CEDIMIENTOS TECNOLÓGICOS	57547915	57547915	SALAVERRY # 1020 COL. LINDAVISTA

(BIBLIOGRAFÍA 19)

V.4 LEGISLACIÓN NORTEAMERICANA

En los Estados Unidos de Norte América también existen regulaciones relacionadas con los convertidores catalíticos que fueron el fundamento del programa PIREC.

En agosto de 1986 por medio de la Agencia de Protección Ambiental EPA (Environmental Protection Agency) y el Buró de Recursos de Aire de California CARB (California Air Resources Board) aplicaron leyes de obligatoriedad para los fabricantes, talleres, y dueños de autos para el cambio de los convertidores catalíticos.

Estas leyes dicen que hay una legítima razón para cambiar el convertidor catalítico cuando:⁽⁴⁶⁾

- El vehículo perdió el convertidor catalítico
- Una inspección local ó federal determina que los existentes convertidores necesitan reemplazo
- Si el vehículo tiene mas de cinco años de viejo o esta operando con mas de 80 000 km (50 000 millas).

El convertidor catalítico debe ser instalado en la misma posición que el original, además de mismo tipo (oxidación, tres vías, tres + aire), y de estar conectado apropiadamente con el sistema de escape.⁽⁴⁷⁾

En la tabla V.6 encontramos las eficiencias mínimas que exigen la CARB y EPA para los convertidores catalíticos.

TABLA V.6 REGULACIONES DE LA EPA Y CARB			
EFICIENCIAS MÍNIMAS EXIGIDAS POR LA CARB			
	HC	CO	NOx
OXIDACIÓN	70%	70%	---
TRES-VÍAS	70%	70%	60%
TRES-VÍAS + AIRE	70%	70%	60%
EFICIENCIAS MÍNIMAS EXIGIDAS POR EPA			
	HC	CO	NOx
OXIDACION	70%	70%	---
TRES-VÍAS	70%	70%	30%
TRES-VÍAS + AIRE	70%	70%	30%

(BIBLIOGRAFIA 48)

V.5 FALLAS DE LOS CONVERTIDORES CATALÍTICOS

Las formas comunes de observar que el catalizador no está funcionando, o va a dejar de funcionar y, por tanto, necesario su reemplazo, son:

- Excesivo calentamiento del convertidor.
- Otra forma de averiguar si un convertidor está en buenas condiciones es midiendo el vacío en el motor. Esto se realiza con un medidor de vacío que se acopla a un conducto de vacío en el múltiple de admisión o de algún puerto por debajo de la placa de estrangulación (mariposa), ver figura V.2. En la mayoría de los modelos el obtener una lectura de 43 a 48 cm de mercurio es normal, mediciones menores indican problemas en el sistema de escape, con posibles retornos de presión en el interior del sistema.⁽⁴⁹⁾
- La temperatura de salida de los gases de escape del convertidor catalítico es menor que en la entrada.
- Al ser golpeados por un mazo de caucho los elementos internos suenan como si tuvieran piedras.

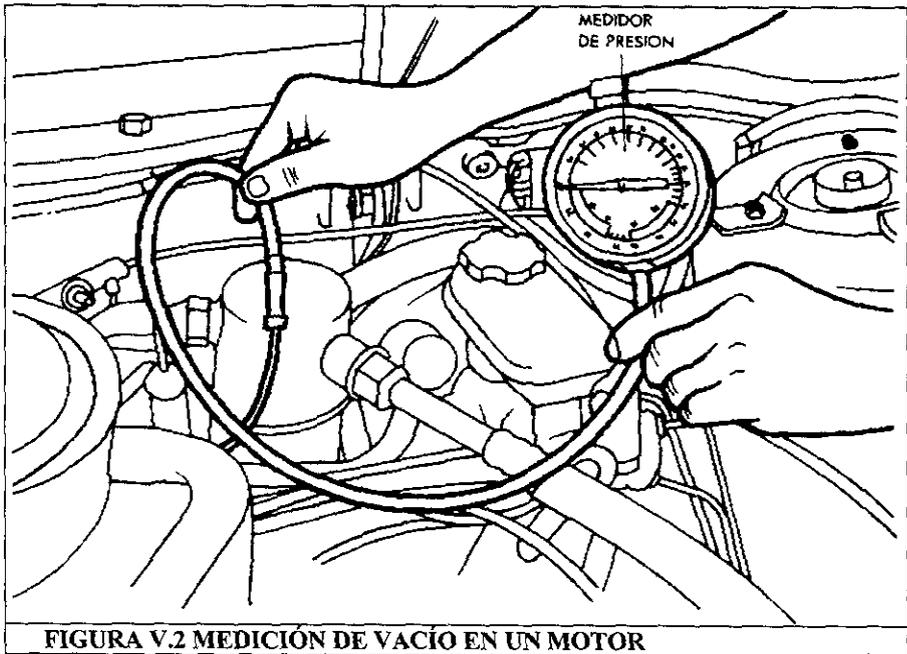


FIGURA V.2 MEDICIÓN DE VACÍO EN UN MOTOR

(BIBLIOGRAFÍA 49)

- Se escucha un eco en el sistema de escape.
- Cuando el convertidor expide un olor a azufre.
- Por golpes ó rajaduras en la carcasa protectora del convertidor, ver figura V.3
- Cuando sé esta observando un envenenamiento y por requerimientos gubernamentales se exigen el cambio.
- Los niveles permitidos de contaminación en el vehículo después de su verificación están siendo rebasados.
- Calentamiento excesivo en el motor y falta de potencia (no desboca el automóvil).

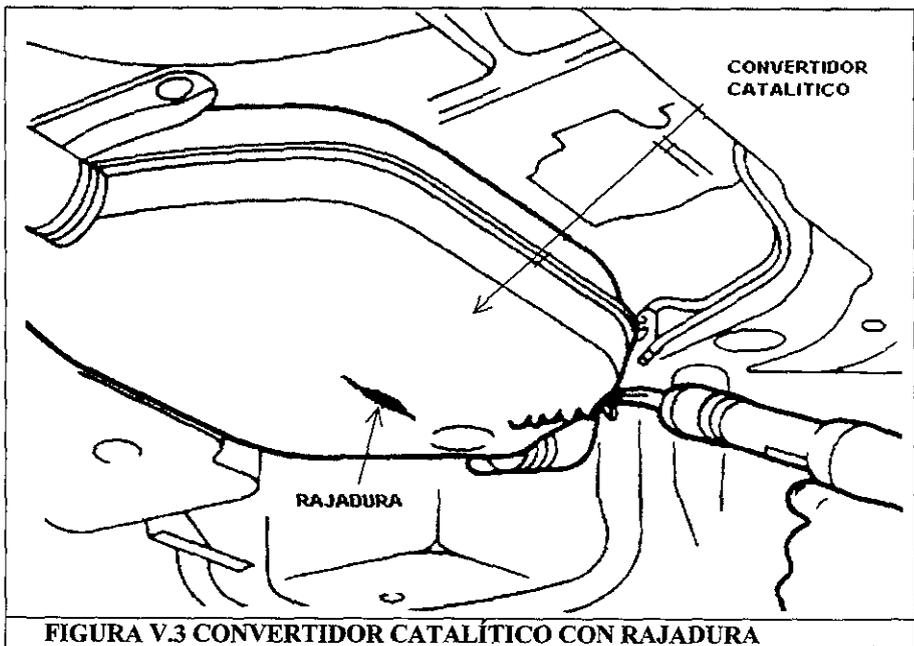


FIGURA V.3 CONVERTIDOR CATALÍTICO CON RAJADURA

(BIBLIOGRAFÍA 49)

- Cuando el motor esta pasando aceite ó anti-congelante a las cámaras de combustión y, por tanto, residuos de estos en el sistema de escape.
- Cuando el motor esta mal afinado.

- Una falla en el sistema de encendido, ya sea una bujía, un cable ó en el sensor de oxígeno.
- Por el uso de gasolina con plomo.
- La utilización de aditivos de aceite y gasolina.
- La incorrecta instalación del convertidor de repuesto.

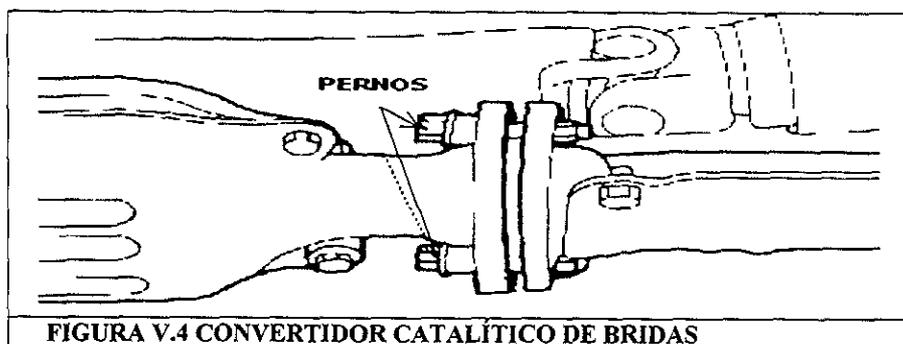


FIGURA V.4 CONVERTIDOR CATALÍTICO DE BRIDAS

(BIBLIOGRAFÍA 49)

V.6 MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL REEMPLAZO DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO

Antes de cambiar un convertidor catalítico es necesario establecer la causa por la cual el convertidor deja de funcionar, arreglarla y entonces proceder con el cambio, esto con el fin de evitar una falla prematura del convertidor de repuesto y así poder obtener los beneficios de la garantía.

Alguna persona puede llegar a la conclusión de que el principal beneficiario de los controles de las emisiones de escape no es precisamente el medio ambiente, sino el bolsillo del mecánico.

No es necesario pagar un alto costo que le cargan en un taller de servicio por sustituir un convertidor catalítico, el reemplazar un convertidor es casi tan sencillo como instalar un nuevo silenciador, pero es necesario saber como hacer las cosas antes de empezar.

1. La seguridad es primera, hay que utilizar gatos y postes metálicos apropiados para elevar el automóvil a suficiente altura para tener acceso debajo del mismo. No hay que improvisar para evitar que el auto se caiga encima de uno, ya que estará directamente debajo de los componentes a los que se estará aplicando fuerza con llaves. Utilizar gafas de protección para evitar que partículas le entren a los ojos.

2. Es aconsejable comenzar cuando el vehículo haya estado estacionado durante dos horas por lo menos, para dejar que el convertidor se enfríe.

3. Algunos convertidores son de bridas, como el de la figura V.4, será necesario empezar aflojando las tuercas de la parte delantera del convertidor, prosiguiendo con las traseras, esta tarea suele ser difícil cuando los tornillos se encuentran corroidos. Para zafar un perno desgastado por la corrosión se debe usar una antorcha para calentarlo y aflojarlo, quien no tenga un soplete, tendrá que utilizar liquido penetrante.

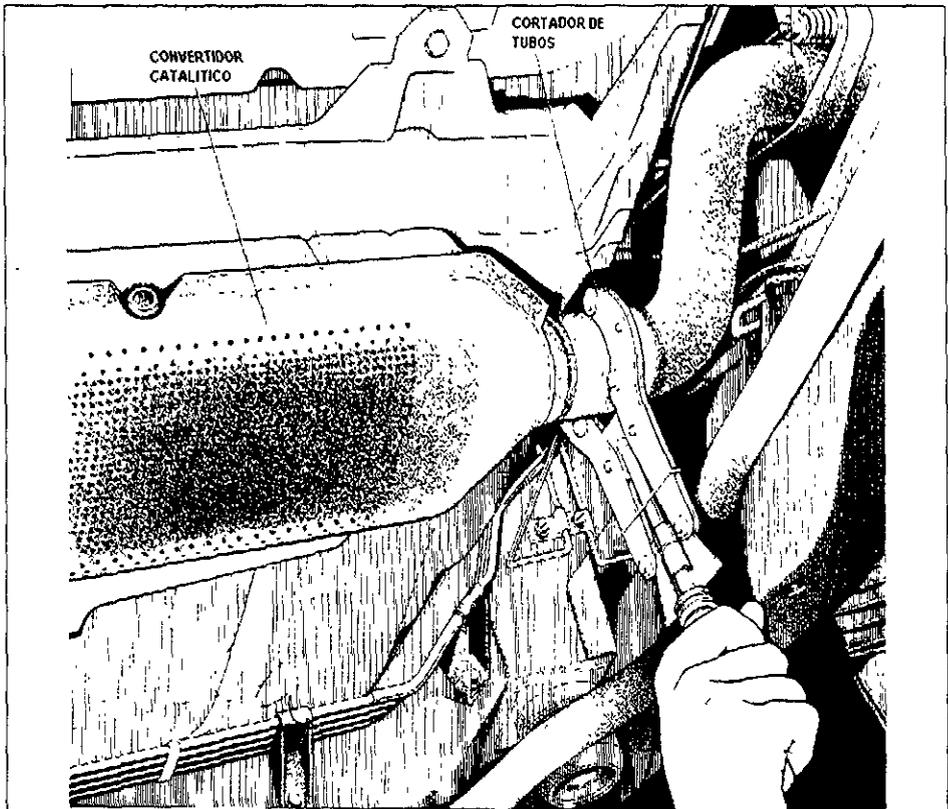


FIGURA V.5 CORTADOR DE TUBOS DE ESCAPE

(BIBLIOGRAFÍA 49)

4. Algunos otros convertidores tienen abrazaderas en sus extremos, la tarea es muy similar a la anterior.

5. En algunos vehículos el convertidor está sencillamente soldado al sistema de escape. en este caso la mejor solución consiste en emplear un cortador de tubos. Ver figura V.5. Corte justamente por delante de las soldaduras, de manera que posteriormente la instalación no se vea obstruida por residuos excesivos del antiguo convertidor

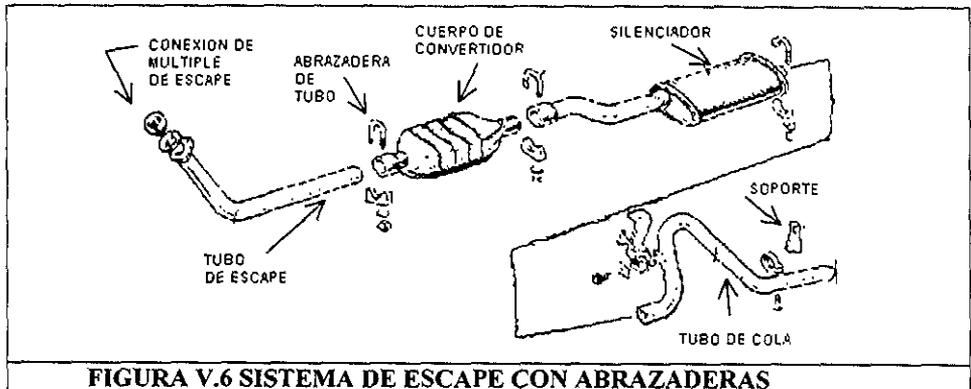


FIGURA V.6 SISTEMA DE ESCAPE CON ABRAZADERAS

(BIBLIOGRAFIA 42)

6. Desmontar la manguera de aire que va desde la bomba de aire al convertidor catalítico, siempre y cuando este último tenga una.
7. Remover el sensor de oxígeno si este lo tiene en el cuerpo del convertidor catalítico, hay algunos modelos que lo traen en el múltiple de escape ó simplemente no traen.
8. Instale el nuevo convertidor, si lo va a instalar con abrazaderas, le recordamos aplicar primero cemento resistente al calor (650°C), y luego apretar todas las abrazaderas.
9. Si va a instalar un convertidor con bridas, utilice tuercas y tornillos de grado 5, "nuevos", aplique en todos los herrajes algún compuesto anticorrosivo para evitar que se unan entre sí.
10. Si el método de unión, va a ser la soldadura, utilice la de microalambre, con el fin de evitar posibles daños al monolito de cerámica.
11. Asegurarse que cualquier unión de deslizamiento telescópica se pueda mover unos 5 cm, una dentro de la otra.
12. Colocar el sensor de oxígeno y la manguera de aire si estas fueron removidas.
13. Comprobar el funcionamiento del nuevo convertidor con un analizador de gases.

V.7 TÉRMINOS DE GARANTÍAS

Los fabricantes de convertidores tiene muchos apartados que verifican la aplicación de la garantía en un convertidor de repuesto, los siguientes puntos son un ejemplo de estos:

Las garantías dejan de ser validas cuando:

- Por cualquier motivo un objeto es soldado al convertidor catalítico.
- Por una mala instalación del convertidor, por ejemplo un mal sellado ó una inadecuada abrazadera.
- Se cortan o modifican las boquillas de entrada y salida del convertidor, así como de modificaciones a la manguera de inyección de aire.
- Cuando un convertidor es instalado fuera de la posición original.
- Cuando el convertidor que se instala no corresponde al numero de cilindros, y al peso bruto vehicular.
- La utilización de gasolina con plomo.
- Cuando por cualquier motivo se introduce algún objeto al convertidor, que cause daños parciales ó totales al monolito.
- Alteraciones, modificaciones, ó reparaciones, ya sean por negligencia, accidente o por error en el uso del producto.
- Cuando no se cumplen con las normas de afinado del automóvil ó por malas afinaciones.
- Cuando se modifica por cualquier razón el sistema de escape.
- Por alteraciones en el kilometraje ó en los instrumentos que indiquen el recorrido del mismo.
- Cuando el instalador en forma dolosa junto con el propietario del vehículo no registra en la garantía los datos reales del vehículo y del convertidor.
- Por falta de la carta de garantía y factura, al reclamo de la misma.
- Cuando se excede del kilometraje o tiempo establecido en la garantía.

CAPITULO VI TRABAJO DE CAMPO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo analizaremos las entrevistas con diferentes personas que tienen relación directa con los convertidores catalíticos, entre las que incluyen fabricantes, distribuidores, talleres PIREC, autoridades. Además, de las diferentes conclusiones y recomendaciones basándose en estos dispositivos.

VI.2 ENTREVISTAS

Entrevista con:

Sr. Antonio Bedoy Anaya

Ejecutivo de ventas de Industrias H.B.M. S.A. DE C.V. Fabricante y distribuidor de convertidores catalíticos de repuesto.

Dirección: Comonfort N.33 Atizapan de Zaragoza. C.P. 52900, EDO de MEX, Tel.: 58221989 y 58227374,

e-mail: hbmofles@data.net.mx

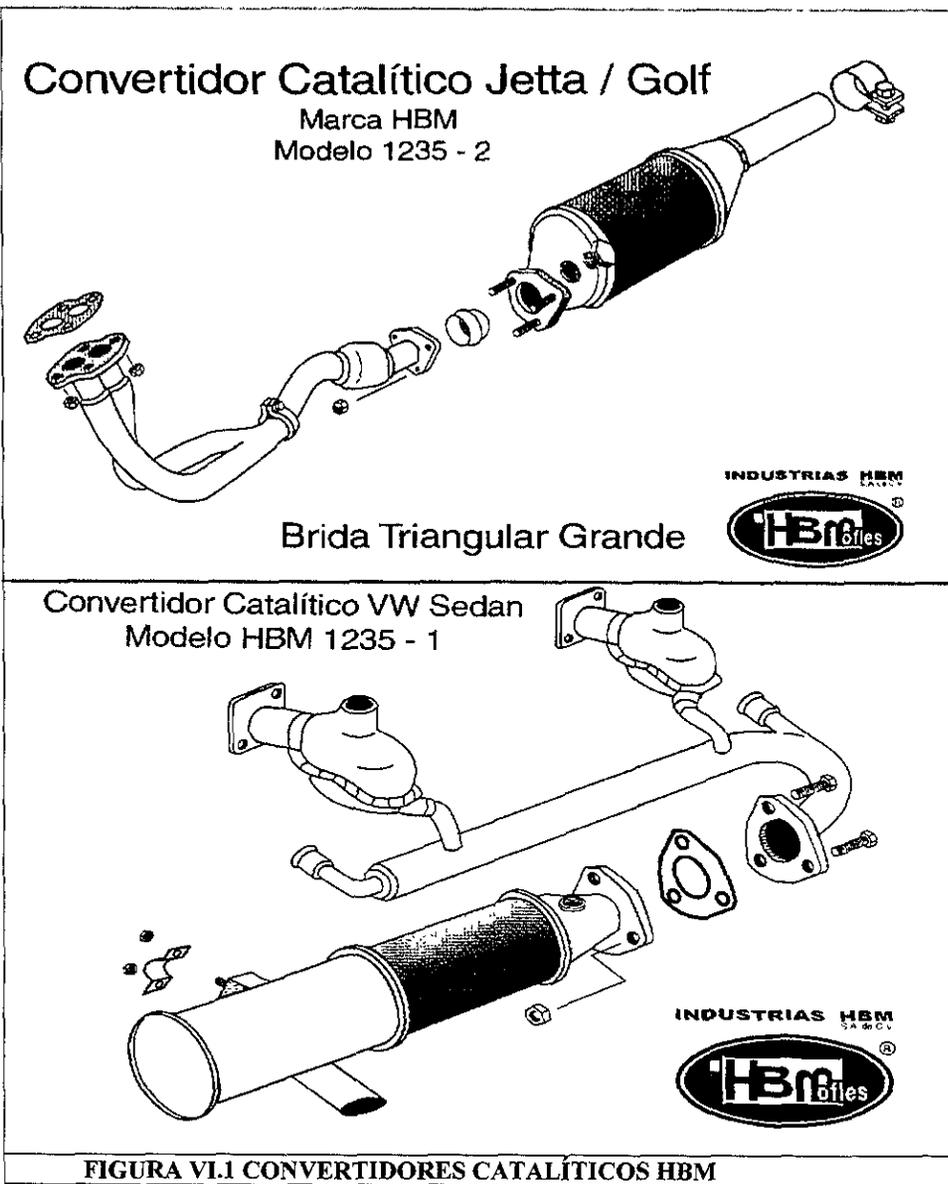
Las preguntas se refirieron al origen de los materiales, la forma del convertidor, los diseños, las eficiencias de los convertidores de repuesto en comparación con los originales, y su opinión del programa PIREC.

¿De donde obtienen los metales nobles y como fabrican los monolitos de cerámica?

Los monolitos de cordierita se compran impregnados con una carga de 40 gr/ft³ (1.412 gr/lt), y con una relación de 5:1 de Pt y Rh., a una compañía llamada Johnson Matthey de México. Actualmente solo se "enlatan" los convertidores.

¿Para que tipo de automóviles son los convertidores que fabrican?

Se fabrican convertidores para coches V.W. modelos sedan, jetta y golf, con un volumen de 1.235 lt y una carga de 1.7445 gr de metales por convertidor catalítico.



¿Cuál es la forma de los convertidores que fabrican?

La forma, el tamaño, las dimensiones del monolito de repuesto, son las más cercanas posibles al original con el fin de evitar que contrapresiones en el escape causen pérdida de potencia, sobrecalentamientos y posibles daños al motor.

Actualmente tienen cuatro modelos certificados para el programa PIREC 93 y 94, todos con las características antes descritas:

Modelo HBM 1235-1 para VW sedan.

Modelo HBM 1235-2 para Jetta y Golf, con múltiple doble.

Modelo HBM 1235-3 para Jetta y Golf, con múltiple sencillo

Modelo HBM 1235-4 para VW combi.

¿Por qué elaboran convertidores catalíticos muy parecidos a los originales?

En estudios realizados por esta compañía en colaboración del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), demuestran que cuando un convertidor catalítico original de 4 pulgadas (pulg) de diámetro es reemplazado por uno de 3 pulg, aumenta la contrapresión en relación de las revoluciones por minuto, generando los problemas antes descritos en la tabla VI.1 se muestra, generando problemas de sobrecalentamiento.

TABLA VI.1 EVALUACIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EMPLEANDO DOS SISTEMAS DE ESCAPE EN UN VEHÍCULO VW SEDAN			
RPM	CAÍDA DE PRESIÓN EN mm Hg DEL CONVERTIDOR DE		%
	5 pulg DIAMETRO	4.5 pulg DIAMETRO	
900	1.5	2.0	33.3
1200	1.0	5.0	400
1500	2.0	6.0	200
1800	3.0	7.0	133.3
2100	3.5	8.0	128.6
2400	5.0	9.0	80
2700	6.0	10.0	66.7
3000	7.5	11.0	46.7
3300	8.0	13.0	62.5
3600	11.0	15.0	36.4
3900	17.0	18.0	5.9

¿Uno como consumidor que aspectos deben tomar en cuenta para elegir un convertidor catalítico?

El aspecto fundamental que debe tomar en cuenta el consumidor para seleccionar un convertidor catalítico de repuesto, es el volumen y la carga de metales nobles medida en gramos del convertidor catalítico, además de que la forma de este sea lo más parecida posible.

¿Qué precio tiene sus convertidores catalíticos?

El precio de cualquiera de los tres modelos es de \$1500 pesos (150 Dólares), a talleres, el cliente lo consigue a \$1700 (170 Dólares).

¿Cuáles son los fabricantes con mejores catalizadores?

Estudios realizados por el INE (Instituto Nacional de Ecología) y el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo), realizaron estudios de las diferentes eficiencias de los catalizadores de repuesto de los diferentes fabricantes, en donde todos cumplen con las eficiencias mínimas exigidas por el Programa PIREC. En la tabla VI.2 se muestra un listado de algunos fabricantes certificados por PIREC, con las eficiencias de conversión y porcentajes de metales activos, es importante recordar que las marcas tienen diferentes modelos de convertidores para diferentes automóviles.

¿El precio del convertidor de repuesto es un factor importante para seleccionar una marca?

Desafortunadamente en programa PIREC se ha desvirtuado, los automovilistas instalan el convertidor más económico que existe en el mercado con el fin de cumplir con las exigencias del PIREC, sin tomar en cuenta que el cambio del convertidor no garantiza pasar la verificación, posiblemente recién instalado si pase la verificación, pero para el siguiente semestre se encontrará con problemas de emisiones.

Por lo tanto no hay que basarse únicamente en el precio del convertidor, sino en los posibles daños que puede causar al automóvil, y los beneficios que se quieren obtener.

¿Cómo saber si el convertidor de repuesto funciona?

La forma más sencilla de hacer esto es llevar el automóvil a la verificación uno mismo y constatar los niveles de contaminantes.

TABLA VI.2 EFICIENCIAS DE LOS CONVERTIDORES CERTIFICADOS POR PIREC						
MARCA DEL AUTOMÓVIL/ MODELO/ CAPACIDAD DEL MOTOR	FABRICANTE/ MODELO DE CONVERTIDOR	% EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE			RELACIÓN DE METALES (Pt-Pd-Rd)	CARGA DE METALES gr/ft ³
		HC	CO	NOx		
VW/ SEDAN/ 1600 cc	CATCO/6904	85	84	78	5-0-1	--
	CARSOUND/54003	76	86	72	5-0-1	--
	CARTEC/01.01.001 C.	97.1	96.5	92.0	5-0-1	30
	ARVIN/VW585718	92.2	89.7	85.9	0-8-1 1-0-1 0-1-0	25 12 30
	INDUSTRIAS HBM /1235-1	91	89	86	5-0-1	40
VW/ JETTA-GOLF/ 2000-1800 cc	BOSAL /330-100 GOLF	87	76.6	75	-----	--
	CARTEC/34400	98.6	94.5	90.5	5-0-1	30
	ARVIN/38052	90.3	80.8	85	5-0-1	45
	INDUSTRIAS HBM /1235-2	90	81	94	5-0-1	40
NISSAN/ TSURU/1600 cc	TRI-D PRODESA/ 7100	93.9	88.3	82.4	5-0-1	45
	ARBIN/28812-A	92.5	87.2	74.3	-----	--
	PEASA/S-1511	85	80	91	1-0-1	12
	CARSOUND/23113	85.5	85.4	76.0	-----	--
	WALKER/ 15152	92	79	81	0-1-0	35
	WALKER/ 15152-6068	85.2	41	66.8	0-1-0	35
FORD/GRAN D MARQUIZ/ 5100 cc	BOSAL/330-100 TSURU	88.7	86.0	88.5	-----	--
	TRI-D/ 5000	93.1	86.5	92.8	5-0-1	45
	KATCON/KC-74355725-20	94	95	98	2-0-1	15

TABLA VI.2 CONTINUACIÓN						
MARCA DEL AUTOMÓVIL / MODELO/ CAPACIDAD DEL MOTOR	FABRICANTE/ MODELO DE CONVERTIDOR	% EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DE			RELACIÓN DE METALES	CARGA DE METALES S gr/ft ³
		HC	CO	NOx	(Pt-Pd-Rd)	
CHRYSLER/ PHANTOM- SPIRIT- SHADOW/ 2500 cc	ARVIN/38502	86.1	82.1	66.7	0-5-1	15
	PEASA/S-1551	81.7	73.2	96.8	1-5-1	25
	EQUIPO AUTOMOTRIZ INDUSTRIAL/ 100101 N. S 005	86.8	85.1	94.4	5-0-1	30
CHEVROLET/ CUTLASS- CENTURY/ 3100 cc	ARVIN/38762	89.1	75.6	83.9	0-5-1 3-0-2	15 15
	PEASA/C-3031	80.7	75	91.8	0-5-1	20
	CATCO/6004	80.6	44.2	49.0	5-0-1	--
	CARSOUND/94005	86.6	90.9	84	2-0-1	--
	DELEX/8100	86	81	76	1-0-1	40
CHEVROLET/ CAVALIER/ 2800 cc	BOSAL/330-200	82.3	74.4	59.6	----	--
	ARVIN/38762	89.0	86.3	78.8	0-5-1 3-0-2	15 12
	KATCON/ KC-37163520	92	93	75	2-0-1	15
	WALKER/15181	93.5	79	74	0-5-1	20
	FORD/ THUNDERBIR D/5000 cc	CARTEC/ 01.05.001A	97.0	90.0	88.0	5-0-1
CHEVROLET/ SUBURBAN/ 5700 cc	CATCO/2604	77	84	60	5-0-1	--
	CARSOUND/ 94009	77	89	64	----	--
NISSAN/MAX IMA/3000 cc	EQUIPO INDUS- TRIAL/10010J	86	88	85	5-0-1	30
FORD/F350/ 5800 cc	WALKER/15142	90	84.8	66.9	0-5-1 0-1-0	30 40
	FORD/TOPAZ/ 2300 cc	CAR SOUND	85.5	85.4	76.0	5-0-1

¿Sirven los convertidores catalíticos de desecho?

La gran parte de los convertidores que se desinstalan aun sirven, desafortunadamente el gobierno obliga a cambiar los convertidores independientemente de los niveles contaminantes que tiene el automóvil.

Algunos países del primer mundo, realizan el cambio total del sistema de escape, ya que se ha demostrado que es mas barato cambiar todo, que ir remendando pieza por pieza.

En México algunos talleres autorizados por PIREC hacen el cambio del convertidor catalítico con el sensor de oxigeno, con el fin de garantiza su perfecto funcionamiento.

Conclusiones de esta entrevista.

Actualmente ninguna compañía de convertidores catalíticos en México produce monolitos de cerámica, en general todos son importados de EUA, y solamente algunas lo ensamblan.

Para poder evaluar un convertidor catalítico, es necesario establecer una correlación entre la carga de metales, volumen del monolito, relación de metales, precio y la forma del convertidor, esto ultimo es importante ya que la teoría en los sistemas de escape dice, que a menor diámetro del convertidor, mayor la contrapresión generada al motor.

La utilización de convertidores catalíticos que están mal diseñados para la cilindrada del motor afectan el consumo de gasolina y la potencia, y en casos extremos la vida del motor. Esto es muy claro cuando a los autos deportivos les instalan sistemas de escape de alto flujo, que producen un efecto de remolino dentro de este, incrementando de 2 a 5 caballos la potencia del motor. En cambio la instalación de convertidores produce contrapresiones dentro del sistema de escape disminuyendo la potencia.

Sabemos que México es un país de bajos recursos, para tener la posibilidad del cambio completo del sistema de escape.

Entrevista con:

Ing. Horacio Ramirez

Departamento de Ingeniería de,

Ingeniería en Sistemas de Carburación S.A. de C.V.

Distribuidor autorizado de convertidores catalíticos de

la marca estadounidense CLAUMER.

Dirección: Otumba #39 La Loma, Tlalnepantla EDO-MEX

C.P. 54070, Tel., 55650459 E-mail: ventas@isc-gip.com.mx

Las preguntas que le realice fueron los tipos de convertidores que ellos comercializan, así como los problemas que han tenido y los beneficios que se obtienen con este tipo de convertidores importados de E.U.A.

¿Qué tipos de convertidores comercializan?

Actualmente se están vendiendo convertidores de dos vías, tres vías y tres vías con inyección de aire, certificados por EPA (Environment Protection Agency), la CARB (California Air Resources Board) y PIREC (Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes).

¿Para que marca de automóviles se aplican?

La marca CLAUMER no comercializa convertidores para coches específicos, se venden según el tipo de convertidor, la capacidad del motor y por el peso bruto vehicular (P.B.V), en la tabla VI.3 tenemos los ejemplos de los convertidores.

TABLA VI.3 CONVERTIDORES DE LA MARCA CLAUMER		
SISTEMA DEL CONVERTIDOR	CAPACIDAD DEL MOTOR EN CENTÍMETROS CÚBICOS	LÍMITE DE PESO EN kg
DOS FUNCIONES	5000 cc	2200
TRES FUNCIONES CON AIRE	5700 cc	2200
TRES FUNCIONES SIN AIRE	5900 cc	3500
TRES FUNCIONES SIN AIRE	3800 cc ó MENOS	2865

¿Qué características tienen los convertidores CLAUMER?

Los convertidores de la marca CLAUMER son idóneos para todos los vehículos que no exceden de 5500 kg de peso bruto vehicular, además, tiene alto desarrollo de la catálisis, la estructura del panal es del alto flujo resistente a altas temperaturas, de durabilidad comprobada, peso ligero, compacto, y puede ser instalado fácilmente.

¿Cuáles son las eficiencias de estos convertidores?

Los convertidores CLAUMER cumple ampliamente con las eficiencias adoptadas por el programa PIREC que son del 70-70-60 % en la conversión de los HC-CO-NOx respectivamente.

¿Qué problemas han encontrado en la colocación de los convertidores CLAUMER, que ameriten su cambio por garantía?

Únicamente se ha tenido un problema con un convertidor que se fundió, por problemas de sobrecalentamiento, en un motor que tenía mal el sistema de encendido.

Antes de colocar un convertidor de repuesto, se aseguran que el motor esta en buenas condiciones, haciendo pruebas visuales de humos negros ó azules y mediciones con una analizador de gases, además de hacerle una afinación completa al motor, y comprometen al propietario del vehículo que realice la afinación cada 6 meses, esto con el fin de garantizar los dos años ó 60 000 km.

Estos convertidores no han tenido problemas por el tipo de gasolina y por aditivos limpiadores de inyectores que se vende en México.

¿Qué tipo de soldadura recomiendan para sellar los tubos de escape con el convertidor catalítico?

Se puede utilizar la soldadura autógena ó utilizar abrazaderas.

¿Qué efectos tiene instalar un convertidor catalítico a un coche?

Normalmente no se distingue diferencia en el rendimiento de un vehículo posea ó no un catalizador, la diferencia promedio en la velocidad máxima para vehículo a gasolina con catalizador comparado con uno sin este, es de solo 2 km/hr.

Investigaciones demuestran que un aumento en el consumo de combustible en un auto equipado con catalizador es inferior al 3%, este valor es despreciable en embotellamientos y algunos vehículos con catalizador han demostrado un menor consumo. ¿La gasolina que se vende en México cumple satisfactoriamente con el uso de los convertidores catalíticos CLAUMER?

La gasolina MAGNA tiene el problema que viene muy sucia, con mucha tierra, provocando que los inyectores se tapen, y generando problemas de encendido y perdida de potencia, es importante cambiar los filtros de gasolina cada 4000 kilómetros.

¿Por qué produce sobrecalentamiento del motor un convertidor catalítico tapado?

Cuando un catalizador esta tapado, se crea una sobre-presión dentro del sistema de escape, provocando que los gases de no fluyan correctamente por la válvula de escape, manteniéndolos mas tiempo dentro del cilindro haciendo que este se caliente.

¿Cómo se puede saber la calidad de un convertidor catalítico?

Un convertidor catalítico se distingue por la carga en gramos por pie cúbico, además de la relación entre metales por ejemplo 5:0:1 ó 5:1:1 de Pt:Pl:Rh, otro factor el tamaño del convertidor, y la forma.

Es muy importante la relación entre el tubo de entrada y el diámetro del cuerpo del catalizador, ya que la entrada de un convertidor catalítico trabaja como un difusor que disminuye la velocidad de los gases incrementando la presión.

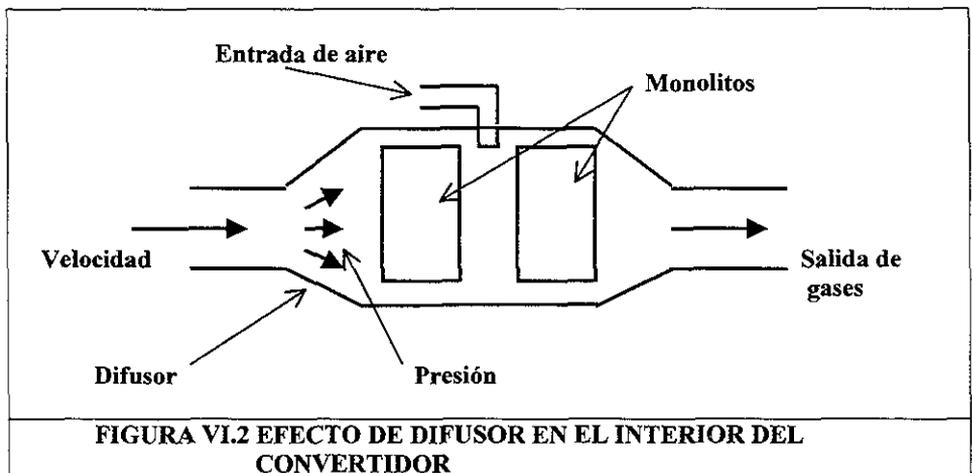
Conclusiones de esta entrevista:

Los convertidores de la marca CLAUMER, son fabricados para automóviles de origen estadounidense, y para condiciones de manejo y mantenimiento muy ideales.

La soldadura que recomienda el fabricante es la oxiacetilénica, para mi punto de vista es muy riesgoso adoptar esta soldadura ya que se puede dañar el monolito.

Cuando un motor se esta sobrecalentando por consecuencia de un convertidor catalítico tapado, se debe cambiar inmediatamente este, ya que se hace trabajar demasiado al sistema de enfriamiento, se puede quemar el múltiple de admisión por el traslape de las válvulas y en casos extremos se puede desvielar el motor.

Es importante instalar un convertidor de repuesto lo más parecido en tamaño y características al original.



En el análisis del diseño del convertidor catalítico es importante señalar que la entrada trabajan como difusor el cual disminuye la velocidad de los gases. aumentando la presión y el tiempo de residencia de los gases de escape.

Entrevista con:

Mecánico Automotriz Víctor Hernández

Departamento de Servicio en

D.I.C.S.A. NORTE S.A. de C.V.

Distribuidor de automóviles General Motors de México.

Dirección: Mario Colín N.35 esq. Presidente Juárez

Tlalnepantla EDO-MEX. C.P. 54070, Tel, 53900535

¿Cuales son las causas por los que un convertidor catalítico se derrita?

Cuando falla algún elemento del sistema de encendido, por ejemplo la bujía, un cable, una bujía, no se produce la chispa dentro del cilindro y el motor se siente faltar potencia, además de que la mezcla de aire/gasolina pasa directamente al múltiple escape.

El sensor de oxígeno que esta instalado en el escape, sensa una mayor cantidad de oxígeno, haciendo que la computadora inyecte aun más cantidad de combustible a los pistones.

Todo lo anterior produce que el convertidor catalítico trabaje a altas temperaturas llegando a derretirse.

¿Qué produce que los convertidores catalíticos se rompan en pedazos?

Las malas condiciones de las carreteras, los topes, baches provocan que vibre ó que se golpee el convertidor, produciendo que se rompa el monolito en pedazos ó que se salga de su lugar y empiece a despedazarse.

¿Qué productos son recomendables para la limpieza de los inyectores sin afectar el funcionamiento del convertidor catalítico?

La General Motors recomienda la limpieza de inyectores con un producto llamado CTS-35800 el cual esta libre de plomo y no causa daños al convertidor catalítico, este producto se mezcla con gasolina al 5% y se conecta directamente al riel de inyectores, por medio de un dispositivo llamado boya.

Este limpiador esta fabricado de éter con algunos limpiadores y lubricantes.

Los limpiadores de inyectores que se venden en centros comerciales y gasolineras se utilizan como aditivos de gasolina mezclándose en los tanques de combustible, causando

que se limpie todos los ductos, la bomba de gasolina, y los inyectores. Este tipo de limpiador tapa a los convertidores catalíticos.

Conclusiones de la entrevista:

Los fabricantes de convertidores de repuesto no recomiendan el uso de limpia inyectores, para mí punto de vista es mejor seguir las instrucciones del fabricante de autos, utilizando los métodos y productos especificados por estos.

¿Por qué? Sabemos que si no se realiza la limpieza de inyectores se dañaran y conociendo que el costo de cada inyector es de \$1000 pesos aproximadamente, nos va a salir mas caro reemplazar todos los inyectores que un cambio de convertidor catalítico de repuesto.

Entrevista con:

Pre-verificador Edmundo Legorreta

**Dirección: Macro-centro de verificación ubicado en la
Avenida Juárez esq. Avenida Industria, Los Reyes Iztacala
Tlalnepantla EDO-MEX.**

Las preguntas que le realice se basaron en sus observaciones que ha realizado con las marcas de automóviles que tienen problemas con las emisiones contaminantes causadas por los convertidores catalíticos, y la forma de pasar la verificación.

¿Qué marcas de automóviles tiene problemas para poder pasar la verificación?

Las marcas de automóviles que tienen estos problemas son las de origen estadounidense en primer lugar Chrysler, en segundo Ford y por ultimo Chevrolet. En cambio la marca Nissan y VolksWagen son los vehículos que no tiene tantos problemas ya que trabajan a menos revoluciones en ralentí y con menos aporte de gasolina.

¿Cuáles son las dificultades que tiene estas marcas con la verificación?

Generalmente estos automóviles tienen altos los índices de NOx, clara imagen de que el convertidor catalítico no funciona.

En cambio los automóviles de la marca japonesa, tienen niveles de hasta 12 ppm de NOx, siendo el límite de 800 ppm.

¿Qué problema ha encontrado con los convertidores catalíticos?

El principal problema que aquejan los convertidores catalíticos, son las altas temperaturas de trabajo, que funden al monolito llegando a tapanlo, produciendo que el sistema de enfriamiento trabaje mas tiempo.

¿A que se debe, que la mayoría de los convertidores están tapados?

Los motores de autos americanos trabajan a revoluciones y temperaturas altas, produciendo que los convertidores se encuentren sometidos a altas temperaturas y altas emisiones, motivo por el cual estos se funden y se tapan.

¿Cómo pasar la verificación con un catalizador dañado?

Cuando los NOx no se median, era fácil pasar la verificación estrangulando el suministro de combustible, es decir, se castigaban a los motores.

Actualmente se tiene que balancear la emisión de CO, HC y NOx, reduciendo ó aumentando la inyección.

¿Qué gasolina se recomienda para pasara la verificación?

Para verificar un automóvil es recomendable que se utilice gasolina Premium ya que tiene menos suciedad.

En cambio la gasolina Magna Sin, en algunos modelos importados por la General Motors (GM), produce cascabeleo, incrementándose las emisiones de CO y HC.

¿Qué tan recomendable es el uso de limpiadores de inyectores para pasar la verificación?

No es recomendable la utilización de aditivos de gasolina ó limpia-inyectores, ya que estos pueden provocar el taponamiento del convertidor catalítico.

Pero para pasar la verificación, algunas veces se hecha aditivo para gasolina libre de plomo al tanque de combustible.

¿Afecta la utilización de convertidores catalíticos en la economía de los automóviles?

Las nuevas técnicas de inyección, las computadoras, el sensor lambda y las mediciones realizadas a los gases contaminantes demuestran que los automóviles tienden a ser más eficientes, eliminando las emisiones nocivas a la salud.

En el mercado existen automóviles que según el fabricante cada 100 000 km ó más se realiza la afinación, esto absolutamente falso, dadas las condiciones de manejo, la gasolina que se vende en México. Por ejemplo las bujías de platino están garantizadas por 80 000 km, y a los 50 000 el automóvil tiene problemas de encendido, otro ejemplo es el aceite sintético multigrado, el cual tiene el problema de pérdida de viscosidad a altas temperaturas, con el problema de pérdida por dilución en el cilindro y así hay otros ejemplos.

Algunas pruebas realizadas a vehículos como el VW sedan indican que este vehículo tiene problemas en el tiempo de chispa y de apertura de las válvulas en el pistón número cuatro.

En un pasado el VW sedan era el automóvil más económico en comparación de sus oponentes de seis y ocho cilindros, actualmente existen automóviles de cuatro cilindros que dan más de 15 kilómetros por litro, desplazando por mucho el sedan.

¿Qué beneficios tiene el programa de verificación vehicular y el PIREC?

El programa de verificación y últimamente el PIREC, han hecho que la corrupción aumente aun más. La gran parte de la contaminación que se emitía a la atmósfera por los automóviles se ha eliminado.

Las fabricas en cambio hoy por hoy son las mayores contaminantes de la atmósfera, esto se puede observar los Sábados y Domingos cuando la mayoría de las fabricas dejan de laborar, en cambio todos los automóviles pueden circular.

Conclusiones de esta entrevista:

La contaminación producida por las fabricas yo considero que es muy alta, el punto anterior es muy importante, y claramente se puede observar lo anterior, además, con el nuevo sistema de auto-diagnostico que puso en marcha el gobierno, son muy discutibles los procedimientos que siguen las empresas para realizar sus pruebas.

Los automóviles que tiene motores de aluminio con altos rendimientos y ciclos de afinación tan largos, son artificios de mercadotecnia, con el fin de que el consumidor compre esos productos, los cuales están fuera de toda realidad.

Entrevista con:

Ing. Ernesto Romero

Coordinador del Programa PIREC

De la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del D.F.

Dirección: Jalapa #15, 7º Piso, Col. Roma, D.F.

Las preguntas que le realice fueron en función a los tipos de problemas que han encontrado con los convertidores de repuesto, además de los aspectos del diseño, y medidas adoptadas por el gobierno en el programa PIREC.

¿Qué descubrimientos han realizado con los convertidores que se han quitado dentro del PIREC?

Los convertidores catalíticos que se retiraron en los automóviles modelo 1993, tienen el principal problema que están envenenados, esto se debe a que en esas fechas, aún se vendía la gasolina con plomo llamada NOVA. Las personas compraban la gasolina NOVA por ser más barata y en algunos otros casos gasolineras deshonestas mezclaban NOVA con MAGNA SIN, y la vendida como esta última.

Otro hallazgo que se ha encontrado es que estos convertidores están tapados por el hollín que genera el motor cuando está pasando aceite. En este caso muchos convertidores tienen un agujero, hecho por mecánicos que meten una varilla dentro del mofle para arreglar el problema.

Las malas condiciones del sistema de inyección en los motores está generando que el convertidor se sobre-caliente, derritiéndose y tapándose, por consecuencia produciéndose contrapresiones dentro del sistema de escape, haciendo que en algunos casos se desvíe el motor, o que se desgasten prematuramente los anillos del pistón.

¿Se está realizando alguna campaña para reciclar los convertidores catalíticos?

Los convertidores catalíticos de desecho se están reciclando por compañías que están comprando los monolitos para extraer los metales nobles

El monolito lo están empleando para la industria cementera en Monterrey.

El acero inoxidable se está reciclando, por las industrias metalúrgicas.

El gobierno no está permitiendo que se re-impregnen los monolitos de cerámica, en Estados Unidos se está trabajando en este aspecto, con buenos resultados.

¿Todos los convertidores catalíticos de los autos modelo 1993 no sirven?

Un 50% de los convertidores catalíticos modelo 1993 y 1994 aún sirven.

En el primer semestre del Programa PIREC, se permitía que los automóviles que pasaran con la verificación sin cambio del convertidor podían obtener la calcomanía cero. Pero solo el 2% de los automóviles 1993 en el segundo semestre cambiaron su convertidor, dándonos una muestra de corrupción que hay en los verificentros.

Dado lo anterior, para el primer semestre del año 2000 todos los automóviles 1993 y 1994 deben cambiar su convertidor independientemente si el convertidor se encuentra en buenas condiciones.

¿Qué diferencias existen entre un convertidor original y uno de repuesto?

La principal diferencia es la carga de metales nobles por pie cúbico, por ejemplo en un convertidor original es de 120 gr/ft³, en cambio un buen convertidor de repuesto tiene máximo 40 gr/ft³.

Otro aspecto es el volumen del convertidor, uno original tiene un volumen calculado por el fabricante, en cambio uno de repuesto generalmente es de menor tamaño

La relación de metales nobles (platino-paladio-rodio) también influye, un convertidor original tiene una relación específica para cada tipo de automóvil, los convertidores de repuesto se basan en a una relación de 5:0:1, y en ocasiones ni eso.

Es por eso que el fabricante de convertidores originales garantiza el producto por 5 años ó 80 000 km, en cambio uno de repuesto solo tiene 2 años ó 60 000 km.

¿Por qué se mide la carga de metales nobles del monolito en gramos por pie cúbico, ya que son unidades diferentes?

El PIREC es una copia del modelo que utiliza la EPA en Estados Unidos, en un futuro se realizaran los diferentes ajustes dentro del sistema internacional.

¿La relación entre metales 5:0:1 muestra que los convertidores de repuesto, su principal función es la reducción de los NOx?

En realidad la relación 5:0:1 fue un eslogan que se adopto de Estados Unidos, los fabricantes de convertidores de repuesto hacen diferentes relaciones, estimando costos y eficiencias de conversión.

En la primera etapa de este Programa solo se contempla la eficiencia de 70,70,60 %, para la conversión de los HC,CO y NOx.

¿En la segunda etapa del PIREC que características deben cumplir los convertidores catalíticos de repuesto?

En esta segunda etapa se llevo a un acuerdo con los fabricantes, en donde cada convertidor catalítico debe tener un mínimo de 0.7 gr de metales nobles.

Las eficiencias deben ser mas reales, y no basadas en especificaciones Norteamericanas, las cuales son muy ideales, como la prueba FTP 75 y conversiones de 70,70,60. Ya que estas pruebas se pueden franquear fácilmente con convertidores que solamente contienen 0.1 gr por convertidor, y mediciones en automóviles en muy buenas condiciones o preparados para estas pruebas.

Las eficiencias mínimas que deben cumplir cada catalizador de repuesto deben ser del 80% en relación con la eficiencia máxima de un catalizador original, medido en un automóvil modelo 1994.

Por ejemplo: Si se quiere certificar un convertidor catalítico de repuesto para un automóvil de la marca Chrysler, modelo Shadow, se toma un automóvil de esa marca y modelo del año 1994 en regulares condiciones. Después se miden las emisiones sin convertidor catalítico, después con un convertidor catalítico original, la reducción de emisiones equivale a un 100%, entonces el convertidor de repuesto que se quiere certificar debe cumplir con un mínimo de 80% de la eficiencia anterior, realizando las mediciones correspondientes.

Además de lo anterior se mantendrá la garantía de 2 años ó 60 000 kilómetros, lo que suceda primero.

¿Qué precio tiene la certificación de los convertidores catalíticos?

El valor de una certificación es de aproximadamente \$13000 pesos, por cada convertidor, utilizando la prueba FTP 75, poniendo la empresa de convertidores los materiales, por ejemplo, los convertidores, el automóvil.

Con el nuevo modelo de certificación que propone el INE (Instituto Nacional de Ecología), el precio será de solo \$6000 pesos (600 dólares), ya que se emplearan los macrocentros de verificación para realizar las mediciones. Por supuesto haciendo previamente una auditoria al verificentro, para comprobar si sus equipos se encuentran dentro de la norma.

¿Cuáles son los precios de los convertidores catalíticos de repuesto?

Los precios oscilan entre 1200 a 1700 pesos (120 a 170 dólares), dependiendo del tipo de convertidor, y la marca.

¿Por que un vehículo de mas de 2727 kg, debe tener diferente tipo de convertidor a uno que tiene menos de 2727 kg, a pesar de que ambos tienen el mismo motor?

Este ejemplo se puede ver muy claro en el motor que utiliza un microbús, y el de una pick-up, ambos por ejemplo tienen un motor con un desplazamiento de 5900 c.c. El primer motor tiene que desarrollar mayor esfuerzo para poder desplazar al vehículo, en cambio con el segundo el motor se encuentra desahogado por así decirlo.

Por lo tanto el motor para microbús se le exige mayores prestaciones, con el correspondiente incremento en el consumo de combustible, en estos casos el convertidor tiene que estar diseñado para un trabajo pesado, en donde la mayor parte del tiempo se encontrara trabajando en exceso de gasolina.

En cambio el motor de la pick-up, trabajada mas tiempo en la llamada ventana estequiometrica, disminuyendo el trabajo por realizar en el convertidor catalitico.

Dado lo anterior podemos notar que para un vehículo de menos de 2727 kg de P.B.V, su convertidor catalitico contiene un máximo de 1.74 gr por convertidor, en cambio un convertidor para un automóvil de mas de 2728 kg de P.B.V., tienen un mínimo de 3.499 gramos por convertidor.

¿Qué problemas han detectado con algunos convertidores catalíticos de repuesto que se están comercializando en los talleres PIREC?

Actualmente el programa tiene poco tiempo de vida, son muy pocos los problemas que se han encontrado en las auditorias que se realizan a los talleres PIREC.

Algunos convertidores de la marca BOSAL, tienen un problema en la soldadura, ya que en las pruebas de sobrepresión se han encontrado fugas.

La marca AP y DELEX, en las auditorias externas se han encontrado que la carga en gramos, no concuerda con la especificada ante las autoridades.

¿Qué recomendación formaría a los consumidores de convertidores de repuesto para elegir el mejor convertidor de repuesto?

Dentro de los acuerdos que se establecieron con los fabricantes, es el no decir cuales son los mejores fabricantes de convertidores, ni cuales son sus eficiencias reales. El consumidor solo sabe que es un convertidor certificado por las autoridades.

Actualmente se están realizando platicas con la procuraduría del consumidor, para que esta realice las pruebas y las publique en su gaceta llamada "revista del consumidor".

Conclusiones de la entrevista:

Como el programa PIREC tiene muy poco tiempo será necesario realizar ajustes, ya sea en el ámbito económico, la corrupción, la certificación.

Un convertidor de repuesto se debe diseñar según la capacidad del motor, según la relación entre metales nobles, la capacidad del en c.c. del convertidor, la vida útil, la carga de metales nobles por pie cúbico, y por el tipo de servicio que desempeñara sea trabajo ligero o pesado.

VI.3 CONCLUSIONES GENERALES

De la entrevista N.1 concluimos que en México aun no tenemos la capacidad tecnológica, productiva para realizar monolitos, todas las compañías que fabrican los convertidores de repuesto tiene la necesidad de comprarlos a fabricantes de Alemania ó Estados Unidos.

La conclusión del encuentro N.2. en la selección de un convertidor catalítico de repuesto es necesario establecer las características del automóvil, como la cilindrada, peso bruto vehicular, y así poder adquirir el convertidor que nos de mas beneficios por menos dinero, idealmente el mejor cambio de un convertidor es por uno original.

Para obtener el mayor beneficio de un convertidor catalítico, se concluye de la platica N. 3 es necesario mantener en muy buenas condiciones en motor, esto se logra, con un buen esquema de mantenimiento preventivo. Obteniendo lo anterior el convertidor catalítico durara tanto como el propio coche.

En la entrevista N. 4 la conclusión que se llevo fue que las pre-verificaciones, los sobornos para brincar las verificaciones ("mordidas"), etc, es estarse engañando uno mismo, sin tomar en cuenta los posibles daños que esto representa. Nos quejamos de la grave contaminación y del nivel de corrupción, pero algo hay que dejar en claro, uno mismo puede acabar con esto.

De la platica con autoridades del medio ambiente quedo muy claro la necesidad de establecer normas oficiales propias, que estén enfocadas a la realidad de nuestro país, y no adoptar medidas extranjeras que están basadas en lugares y condiciones ideales

VI.4 RECOMENDACIONES

Para mejorar la vida útil y la actividad de los convertidores catalíticos es recomendable que estos tengan alta carga de metales activos en el monolito, además, que tengan una relación de metales nobles optima.

Es recomendable utilizar nuevos aislantes térmicos, para evitar la disipación de calor del catalizador, y así reducir el tiempo de activación.

La afinación básica cada 6 meses al automóvil y la afinación mayor cada año son muy recomendables para el mejor funcionamiento del convertidor catalítico.

Se recomienda seguir el manual del propietario de los vehículos para poder obtener un mejor funcionamiento del convertidor catalítico.

No se recomienda la utilización de aditivos de gasolina y de limpiadores de inyectores que estén fuera de las recomendaciones del manual del propietario del vehículo.

Se sugiere que el cambio del convertidor catalítico sea en un taller autorizado y que los convertidores sean los adecuados en función de la potencia del motor, del peso bruto vehicular y del número de cilindros, además de estar certificados.

Es recomendable, para futuras regulaciones ambientales instalar un convertidor lo más cercano posible al múltiple de escape, y así menorar las emisiones ambientales en arranques en frío.

Es recomendable antes de cambiar el convertidor catalítico hacer una verificación de los gases contaminantes para determinar si el motor no se encuentra en buenas condiciones.

Es recomendable utilizar la gasolina Premium, ya que tiene mejores propiedades que aumentan los caballos de potencia del motor y menores emisiones de contaminantes.

Se recomienda la instalación a todos los coches por parte de las fabricas de dos sensores de oxígeno en ves de uno solo, uno en la entrada del catalizador y otro a la salida con el fin de detectar cuando un convertidor deja de funcionar.

No es aconsejable empujar un automóvil con catalizador para hacerlo arrancar, ya que la mezcla aire/gasolina pasa sin quemar por el motor y puede afectar el catalizador si el automóvil no arranca rápidamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. PUBLIC HEALTH SERVICE.: The sources of air pollution and their control. Washington D.C., Government Printing Office. 1966, cit. por Moreyra Sandoval, Rogelio F. en: Tesis. Estudio de la oxidación catalítica de gases de escape de motores de combustión interna. México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México. 1971, p.5.
2. LOPEZ ALEGRIA, Pedro.: Contaminación atmosférica, gas natural y gas L.P., 1ª ed., México, Instituto Politécnico Nacional. 1985, p.25,81-91..
3. FAIRES, Virgil Moring.: Termodinámica, trad. J. A. Lanuza Escobar y Susana Blumovicz, 1ª ed., México. UTEHA Editorial, 1965, p.222.223.
4. GENESIS.: Enciclopedia Practica del Automóvil, Génesis ediciones, 1994, t.I. p.1.2.
5. WARK, Kenneth Jr.: Termodinámica, trad. Jose L. Torres y Carlos M. Sánchez, 5ª ed., México, McGraw-Hill editores, 1994, p.515-620
6. JOVAJ, M. y MASLOV, G.: Motores de automóvil, trad. Antonio Molina García. 1ª ed, URSS, MIR Editor, 1973, p.116,152.
7. BANSE Tim.: "Fuera de Borda", en: Mecánica Popular, México, Mayo. 1995, p.75,77.
8. EVEREST, Ralph J.: Manual para el afinado de motores, trad. José Ruiloba León, 3ª ed, México, Constancia editor, 1954, p.205-209.
9. MUGICA, V.; MORAN, M.; y CASTILLO, S.: Reporte de Investigación: Desarrollo de catalizadores con metales no nobles para el control de emisiones vehiculares, 1ª ed., México, Universidad Autónoma Metropolitana, 1996, p.9.
10. PARTINGTON, J.: Química, General e Inorgánica para Estudiantes Universitarios, trad. I,Ruiz Alvarez, 4ª ed, Madrid, Dossat Editorial, 1962, p.661.
11. PARERA MARTÍN, Albert.: Encendido Electrónico, 1ª ed, Madrid, Alfaomega-Marcombo editores, 1991, p.11-14
12. BOSCH, Robert.: Bosch Technical Instruction Electronically Controlled Gasoline Fuel-Injection System with Lambda Closed-Loop Control KE Jectronic, 1ª ed., Alemania GmbH, Robert Bosch Printing, 1985, p.4.

13. ORTIZ QUINTERO, Ricardo.: Tesis: Reducción de HC y COx en los gases de emisión de un motor a gasolina, mediante un convertidor de zeolita. Director de tesis: M.I. Esteban Barrios Bonilla. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1997, p.60.
14. LOPEZ MARTÍN DEL CAMPO, Eduardo.: Tesis, Evaluación de las emisiones de un motor de gasolina con conversión a gas L.P. y eficiencia del convertidor catalítico. Director de tesis: M.I. Esteban Barrios Bonilla. México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1995, p.14,15,49.
15. BOSCH, Robert.: Manual de la Técnica del Automóvil, trad. Baltasar Vila Adler, 1ª ed., GmbH Dusseldorf, Reverte editorial, 1992, p.210-213.
16. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA.: Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000, Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, 1996.
17. TIMM, John Arrend.: Química General, trad. Enrique Costa Novella, 4ª ed., México, McGraw Hill, 1991, p.514.
18. RUEDA AGUILAR, Laura.: Tesis, Evaluación de Convertidores Catalíticos, Director de tesis: Salvador Castillo Cervantes, México D.F., INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 1990, p.4.
19. <http://www.udgserv.cencar.udg.mx>
20. HORWITZ, Henry.: Soldadura: Aplicaciones y Practica, trad. Rafael García Díaz, 1ª ed., México, Alfaomega, 1990, p.98.
21. AMSTEAD, B.; OSTWALD, P.; BEGEMAN, M.: *Procesos de manufactura Versión SI*, trad. Bernardo Noyola Pintor y otros, 1ª ed, 11ª reimp, México, CECSA editor, 1996, p.223.
22. SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA.: *Informe sobre el Estado del Medio Ambiente en México*, 1986
23. GRIJALBO.: *Diccionario Grijalbo ilustrado*, 1ª ed., Barcelona, Grijalbo editores, 1990, t.I, p.147.
24. COMISION METROPOLITANA PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL VALLE DE MÉXICO.: *Control de emisiones vehiculares en la zona metropolitana de la ciudad de México*, Rodolfo Lacy Tamayo, Director de Ecología del Distrito Federal, México, 1992, p.81.
25. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, VIERNES 3 DICIEMBRE 1994.

26. MITCHELL INTERNACIONAL.: Control de Emisiones Automotrices, EUA. San Diego California, 1992, passim.
27. ALARCÓN, R.: Introducción al M.P.F.I y T.B.I., 1ª ed, México. Asociación Mexicana de Distribuidores General Motors A.C., 1998, p.11,83.
28. MARTÍN, Albert.: Inyección Electrónica en Motores de Gasolina, 1ª ed, Madrid, 1996.p 3-8.
29. SHULDINER, Herb.: Autos de Combustible Alterno, en: Mecanica Popular, México. D.F., volumen 48-12, Diciembre 1995, p.32.
30. BOSCH, Robert.: Bosch Technical Instruction, Combined Ignition and Fuel-Injection System with Lambda Closed-Loop Control Motronic, 2ª ed., GmbH, Robert Bosch Printing, 1985, p.91.
31. <http://www.apaa.org/delco/kyv/vobeng2.htm>
32. FUENTES, Sergio y DIAZ, Gabriela.: Catalizadores, ¿La piedra filosofal del siglo XX?, 2ª ed., México D.F.,Fondo de Cultura Económica Editor, 1997, p.13.
33. BLANCO, Jesús y LINARTE, Ricardo.: Catálisis, Fundamentos y Aplicaciones Industriales, 1ª ed., México, Trillas Editorial, 1976, p.14
34. <http://nyen.com/wwwboard/messages/173.htm>
35. Comercializadora Toolmex, s.a. de c.v., distribuidora de convertidores cataliticos de la marca ENGELHARD, exceptional technologies, E-Mail: toolmex@df1.telmex.net.mx
36. INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO, Técnicas experimentales en la caracterización de los catalizadores, Series Científicas, México, ,1986,t.2, cit. por Rueda Aguilar, Laura, en: Tesis, Evaluación de Convertidores Cataliticos, Director de tesis: Salvador Castillo Cervantes, México D.F., IPN,1990, p.17.
37. http://webdevvh4.nrel.gov/papers/scexp9b_full.html
38. ASIF,Fair.; CHRISTOPHER,S.; WALSH,Michael.; Air Pollution From Motor Vehicles, Standards and Technologies for Controlling Emissions, Washington D.C., The World Bank, 1996, p.68
39. <http://www.researchmag.com/platinum/factshee.htm>
40. <http://car-sound.com/page1.htm>

41. CARPENTER.: Materiales de Ingeniería para un Mundo cambiante, México.
42. SCHULTZ, Mortz.: "Como Reparar el Convertidor Catalítico", en: Mecánica Popular, México, Marzo, 1996, num 3, Vol. 39, p.38
43. <http://www.theautochannel.com/content/news/press/date/19971201/press008307.html>
44. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, Martes 29 De Octubre de 1991, p.11
45. GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, Programa de Verificación Vehicular Obligatoria para 1999, inciso f), punto 1, del apartado VII.2
46. GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, Secretaria del Medio Ambiente.: Convocatoria a fabricantes y distribuidores de convertidores catalíticos de repuesto para el control, de emisiones vehiculares en el Estado de México y Distrito Federal, DGPC- DGPA-PIREC-1999, en: Diario, La Jornada, domingo 25 de abril de 1999, México.
47. <http://www.a-1performance.com/super-converter/installation.htm>
48. <http://www.tri-d.net/regulations.htm>
49. PIECHOCKI, Jim.: "Reemplazando el convertidor catalítico", en: Mecánica Popular, México, mayo, 1991, núm. 5, p. 35-38.