

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**



**SEDE LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE  
LIMPIEZA POR VAPOR DE AGUA SATURADA  
PARA EL MANTENIMIENTO DE CATALIZADORES  
EN LOS VEHÍCULOS A GASOLINA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA**

**Latacunga, Agosto 2009**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo "ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA POR VAPOR DE AGUA SATURADA PARA EL MANTENIMIENTO DE CATALIZADORES EN LOS VEHÍCULOS A GASOLINA", cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, 5 de agosto del 2009

**LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA**

**CI. N° 1715963797**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “ESTUDIO Y APLICACION DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA POR VAPOR DE AGUA SATURADA PARA EL MANTENIMIENTO DE CATALIZADORES EN LOS VEHICULOS A GASOLINA”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 5 de agosto del 2009

**LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA**

**CI. N° 1715963797**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**CERTIFICADO**

ING. LUIS MENA (DIRECTOR)

ING. LEONIDAS QUIROZ (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo “ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA POR VAPOR DE AGUA SATURADA PARA EL MANTENIMIENTO DE CATALIZADORES EN LOS VEHÍCULOS A GASOLINA”, realizado por la señorita LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimiento y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de **UN** empastado y **UN** disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil. Autorizan a la señorita **LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA** que lo entregue al **ING. JUAN CASTRO**, en su calidad de Coordinador de la carrera.

Latacunga, 5 de agosto del 2009

**Ing. Luis Mena**

**DIRECTOR**

**Ing. Leonidas Quiroz**

**CODIRECTOR**

## **CERTIFICACION:**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por LORENA MARIBEL CAMACHO JÁTIVA, bajo nuestra supervisión.

**ING. LUIS MENA**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**ING. LEONIDAS QUIROZ**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## *AGRADECIMIENTO*

*Como estudiante investigativa quiero agradecer a dios por darme la luz de la vida y saberme guiar por el camino de la verdad y justicia sin importar los obstáculos que se nos presenten, ya que el nos enseñó que, "cuando nuestra vida marcha sin sentido, generalmente termina en un callejón que no presenta ninguna alternativa para seguir viviendo, que cuando parece que no hay salida, y todos los intentos son vanos, el nos muestra un camino excelente lleno de esperanza y amor".*

*Agradezco a mis padres por estar siempre apoyándome y ser un ejemplo de vida por brindarme siempre su confianza y la oportunidad de ser alguien en la vida.*

*Agradezco a todos mis maestros por haberme llenado de conocimientos y apoyado para la culminación de mi tesis.*

*Lorena*

## DEDICATORIA

*Deseo dedicar este logro a dios por guiarme siempre, a mis padres Washington y Marisol y a mi esposo José Luis por haberme brindado su apoyo y dedicación en todo momento.*

*Lorena Camacho*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
CERTIFICACIÓN.....	iv
CERTIFICACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv

## CAPÍTULO I

<b>1 NIVELES DE CONTAMINACIÓN Y CATALIZADORES.....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.2 Justificación e importancia.....	2
1.2 Calidad del aire.....	5
1.2.1 Fuentes de contaminación.....	6
1.2.2 Los gases contaminantes y nocivos para la salud son .....	7
1.2.3 Los contaminantes gaseosos.....	9
1.2.4 Impactos de la contaminación atmosférica.....	10
1.3 Problemas y alternativas de solución.....	12
1.3.1 Impactos de la contaminación.....	12

1.3.2 Efecto a la salud de gases contaminantes de un automotor.....	13
1.3.3 Alternativas de solución.....	14
1.3.4 La necesidad de implantar el proceso de revisión técnica vehicular.....	16
1.4 Combustión y Catalizadores.....	21
1.4.1 Combustión en los motores a gasolina.....	21
1.4.2 La combustión.....	21
1.4.3 Tipos de gases producidos en la combustión y consecuencia.....	26
1.4.4 Gases no contaminantes.....	26
1.4.5 Gases nocivos para la salud.....	26
1.4.6 Emisiones del escape.....	30
1.5 Convertidores catalíticos.....	31
1.5.1 Tipos del convertidor catalítico.....	32
1.5.2 Influencia de la temperatura en el funcionamiento de los catalizadores.....	41
1.5.3 Funcionamiento del catalizador de tres vías.....	42
1.5.3 Veneno para el catalizador.....	44
1.5.4 Constitución del convertidor catalítico.....	46
1.5.5 Constitución interna del catalizador.....	49

## CAPÍTULO II

<b>2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VAPOR DE AGUA SATURADA Y SU INFLUENCIA EN LA LIMPIEZA DE CATALIZADORES</b> .....	51
2.1 Introducción.....	51
2.2 Generadores de vapor de calderas.....	52
2.2.1 Formas de operación de la caldera.....	55
2.2.2 Controles previos antes del encendido .....	52
2.2.3 Clasificación de las calderas.....	58
2.2.4 Calderas pirotubulares.....	58
2.2.5 Calderas acuotubulares.....	58
2.2.6 Mantenimiento en calderas.....	60
2.2.7 Mantenimiento diario.....	61
2.2.8 Mantenimiento anual.....	61
2.2.9 Análisis de la regeneración de catalizadores por medio de vapor de agua saturada.....	62
2.2.10 Regeneración del catalizador del convertidor catalítico.....	62
2.2.11 Propiedades fisicoquímicas del catalizador.....	64

### CAPÍTULO III

<b>3 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE CATALIZADORES POR MEDIO DE VAPOR DE AGUA SATURADA.....</b>	<b>67</b>
3.1 Parámetros de la construcción de bridas y acoples para la instalación de los catalizadores en la caldera.....	68
3.2 Parámetros para la regeneración de catalizadores utilizando vapor de agua saturada.....	72
3.3 Operación, funcionamiento y montaje de los catalizadores en la caldera para el proceso de regeneración .....	73
3.4 Comportamiento de los parámetros principales al inicio y final del proceso de regeneración de los catalizadores en la caldera.....	79

### CAPÍTULO IV

<b>4 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
4.1 Parámetros de funcionamiento del sistema de escape.....	81
4.1.2 Refrigeración de los gases de escape.....	83
4.1.3 Sonda lambda de banda ancha.....	83
4.1.4 Sistema de Escape del Vehículo VITARA 3P.....	85
4.2 Puesta a punto del motor.....	86
4.2.1 Medición de presión de vacío.....	89
4.2.2 Determinación de la composición de gases de escape según la norma INEN NTE 2203:99.....	90
4.3 Pruebas realizadas.....	97

4.3.1	Equipo utilizado.....	97
4.3.2	Procedimiento.....	98
4.3.3	Datos obtenidos.....	103
4.3.4	Análisis de resultados.....	105
4.3.5	Procesamiento de datos.....	105
4.3.6	Determinación del consumo de combustible y pruebas de carretera antes y después de la regeneración de catalizadores.....	112
4.3.7	Procesamiento de datos.....	113
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>115</b>
BIBLIOGRAFÍA.....		116
ANEXOS.....		117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Contaminación en la ciudad de Quito.....	1
Figura 1.2	Emisión de gases en función de la relación lambda para un motor a gasolina antes del catalizador.....	27
Figura 1.3	Emisiones de CO antes y después del catalizador.....	28
Figura 1.4	Emisiones de HC antes y después del catalizador.....	29
Figura 1.5	Emisiones de NOx antes y después del catalizador.....	30
Figura 1.6	Convertidor catalítico.....	31
Figura 1.7	Sistema simple de un convertidor catalítico de oxidación.....	34
Figura 1.8	Sistema doble de un convertidor catalítico de oxidación- reducción .....	34
Figura 1.9	Conversión simultanea de HC, CO y NOx para un catalizador de tres vías en fusión de la relación aire- combustible.....	35
Figura 1.10	Voltaje de salida del sensor de oxigeno en fusión de la relación aire- combustible.....	36
Figura 1.11	Elementos del sistema de control de emisiones.....	37
Figura 1.12	Convertidor catalítico de tres vías.....	38
Figura 1.13	Efectos de la relación aire-combustible en la eficiencia del catalizador.....	39
Figura 1.14	Descripción de los ciclos de prueba utilizando un dinamómetro.....	40
Figura 1.16	Efecto gas de escape.....	41
Figura 1.17	Efecto gas de escape .....	41
Figura 1.18	Curvas de emisión de gases de escape .....	43

Figura 1.19 Convertidor catalítico de tres vías.....	44
Figura 1.20 Curvas de las mediciones efectuadas antes del catalizador.....	45
Figura 1.21 Curvas de las mediciones efectuadas después del catalizador).....	46
Figura 1.22... Convertidor catalítico.....	46
Figura 1.23 Carcasa del convertidor catalítico.....	47
Figura 1.24 Convertidor catalítico.....	47
Figura 1.25 Componentes de la cámara del convertidor catalítico.....	48
Figura 1.26 Monolito cerámico.....	48
Figura 1.27 Constitución del catalizador de tipo cerámico.....	49
Figura 2.1 Esquema de una caldera simple.....	54
Figura 2.2 Mandos electrónicos de una caldera.....	56
Figura 2.3 Caldera pirotubular.....	59
Figura 2.4 Caldera acuotubular.....	60
Figura 3.1 Catalizador vehículo Chevrolet Vítara 3P.....	69
Figura 3.2 Trazado de las bridas .....	70
Figura 3.3 Corte de las láminas de acero .....	70
Figura 3.4 Corte de diámetros interiores y exteriores.....	70
Figura 3.5 Catalizadores de prueba con las bridas soldadas.....	71
Figura 3.6 Colocación del catalizador de prueba en el vehículo.....	71
Figura 3.7 Caldero de Vapor con la bancada libre .....	73
Figura 3.8 Válvula de purga de agua del caldero .....	74
Figura 3.9 Panel de control de la caldera .....	74
Figura 3.10 Conexión de la manguera de alimentación de agua potable.....	75

Figura 3.11	Conexión de la manguera de alimentación a la caldera.....	75
Figura 3.12	Nivel de agua de operación normal de la caldera.....	76
Figura 3.13	Conexión del cable de alimentación.....	76
Figura 3.14	Montaje de la bancada y el convertidor catalítico.....	77
Figura 3.15	Apertura de la válvula para el flujo de vapor.....	78
Figura 3.16	Catalizador regenerándose .....	78
Figura 3.17	Desmontaje del catalizador.....	78
Figura 4.1	Sistema de escape convencional .....	81
Figura 4.2	Válvula EGR.....	82
Figura 4.3	Sistema de escape con inyección electrónica.....	83
Figura 4.4	Sonda Lambda.....	84
Figura 4.5	Sensor de Temperatura.....	84
Figura 4.6	Sistema de escape del motor VITARA.....	86
Figura 4.7	Desmontaje de las bujías.....	87
Figura 4.8	Calibración de las bujías.....	87
Figura 4.9	Marca fija y móvil de la polea del cigüeñal.....	88
Figura 4.10	Conexión de la luz de prueba.....	88
Figura 4.11	Revisión del escape.....	99
Figura 4.12	Analizador de gases infrarrojo.....	99
Figura 4.13	Conexión de la sonda.....	100
Figura 4.14	Toma de la lectura de los gases de escape.....	100
Figura 4.15	Hoja de dato obtenidos.....	101
Figura 4.16	Desmontaje del catalizador.....	101
Figura 4.17	Montaje del catalizador en el Caldero.....	101

Figura 4.25 Comparación de Porcentajes de CO para catalizadores Limpios vs Sucios .....	108
Figura 4.26 Comparación de Porcentajes de ppm HC para catalizadores Limpios vs. Sucios.....	109
Figura 4.27 Porcentajes de Eficiencia de CO para los seis catalizadores.....	110
Figura 4.28 Porcentajes de Eficiencia de ppm HC para los seis catalizadores....	110
Figura 4.29 Comparación de Porcentajes de CO entre catalizador sucio, Valor de la Norma y catalizador limpio para los seis catalizadores....	111
Figura 4.30 Comparación de Porcentajes de ppm HC entre catalizador sucio, Valor de la Norma y catalizador limpio para los seis catalizador.....	111

## LISTADO DE TABLAS

Tabla I.1	Efectos de la lluvia acida .....	10
Tabla I.2	Influencia de los gases en el efecto invernadero.....	11
Tabla I.3	Contenidos de compuestos aromáticos en las gasolina.....	17
Tabla I.4	Relación lambda.....	24
Tabla I.5	Relación lambda.....	25
Tabla I.6	Coeficientes de ionización.....	50
Tabla III.1	Características del vehículo Vitara 3p.....	67
Tabla III.2	Características de los catalizadores a utilizar .....	68
Tabla III.3	Parámetros para la regeneración de catalizadores utilizando vapor.....	72
Tabla III.4	Parámetros de regeneración.....	79
Tabla III.5	Parámetros de regeneración a la mitad del proceso.....	79
Tabla III.6	Parámetros de regeneración a la mitad del proceso.....	79
Tabla IV.	Características principales del Equipo.....	92
Tabla IV.2	Características principales del Equipo (continuación).....	93
Tabla IV.3	Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina (prueba estática).....	93
Tabla IV.4	Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).....	96
Tabla IV.5	Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor a	

gasolina a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	96
Tabla IV.6 Especificaciones.....	97
.	
Tabla IV.7 Características del analizador de gases.....	98
Tabla IV.8 Descripción.....	98
Tabla IV.9 Valores Máximos de emisiones de Vehículos a Gasolina (RTV 2009).....	103
Tabla IV. 10 Identificación de los catalizadores de los vehículos facilitados para el protocolo de pruebas.....	104
Tabla IV.11 Concentración de monóxido de carbono (CO) en los gases de Escape en los seis catalizadores.....	114
Tabla IV.12 Concentración de ppm de HC en los gases de escape en los seis vehículos. .....	105
Tabla IV.13 Porcentaje de eficiencia de regeneración de CO de gases de escape en los seis vehículos .....	106
Tabla IV.14 Porcentaje de eficiencia de regeneración de ppm HC de gases de escape en los seis vehículos.....	106
Tabla IV.15 Concentración de CO y Valor permitido por La Norma de gases de escape en los seis vehículos.....	107
Tabla IV.16 Concentración de ppm de HC y valor permitido por La Norma de gases de escape en los seis vehículos .....	107
Tabla IV.17 Consumo de combustible antes de la regeneración.....	112
Tabla IV.18 Consumo de combustible después de la regeneración.....	113

## LISTADO DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.1 Combustión Ideal y Real.....	20
---	----

# CAPÍTULO I

## 1 NIVELES DE CONTAMINACIÓN Y CATALIZADORES

### 1.1 Antecedentes.

Los problemas relacionados a la calidad del aire en las principales ciudades del Ecuador se viene analizando desde hace seis años, principalmente en la ciudad de Quito (figura 1.1), una de las principales fuentes de contaminación es el aumento incontrolable del parque automotor y la mala calidad del combustible empleado por vehículos ya que se genera aproximadamente 220000 toneladas métricas por año de los cuales el 80% provienen del parque automotor según datos obtenidos por el Centro de Revisión Vehicular de la ciudad de Quito.



**Figura 1.1 Contaminación en la ciudad de Quito**

Debido a este problema, el Municipio de Quito en los últimos años, realiza operativos de control en los buses y automotores a diesel y gasolina, pero en lo que respecta a la calidad de combustible o el tratamiento de gases de escape no se ha tomado ninguna medida, razón por la cual realizan el control en los Centros de Revisión Vehicular, lo cual es un gran aporte para un eficiente control de las emisiones contaminantes. Dado que la solución no está solamente en el control, sino en corregir directamente la fuente de contaminación proveniente de los automotores, los vehículos de la actualidad cumplen con las regulaciones y normas existentes, las cuales consideran que se empleen sistemas de reducción de emisiones, como lo son los convertidores catalíticos.

En 1997 el alcalde de Quito, Roque Sevilla, quiso imponer el uso de los convertidores catalíticos para todo tipo de vehículo, pero esta medida no tuvo sustento técnico para los vehículos a carburador, porque los convertidores catalíticos requieren de un control del paso de combustible, ya que la gasolina al entrar a las cámaras de los convertidores catalíticos dispara la temperatura y causa la deformación por fusión; esto ocurriría si se pone convertidor catalítico en un motor que es alimentado mediante un carburador.

Desde la existencia de la norma INEN NTE 2204, a finales de 1999, todos los vehículos son comercializados con sistemas de inyección electrónica de combustible, ya que para cumplir los niveles permisibles de control de contaminación vehicular, en la mayoría de casos, es necesario el empleo del convertidor catalítico para reducir los gases contaminantes producidos en el motor.

## **1.2 Justificación e importancia del problema a desarrollar.**

En el Ecuador los sistemas de control de emisión de gases relacionado a los combustibles comienzan a generalizarse a partir de 1996, cuando se elimina el contenido plomo en los mismos; posteriormente aparece la regulación de emisiones de los automotores, normas INEN NTE 2204 Y 2207; en las que se establecen los límites de emisiones para motores a gasolina y diesel, respectivamente.

A partir del año 2000 los vehículos comercializados en el país poseen sistemas de control y reducción de emisiones, principalmente con convertidores catalíticos de tres vías. El número de vías se refiere a la cantidad de metales preciosos: Rodio, Platino y Paladio, que forma parte del catalizador propiamente dicho que se encuentra sobre la superficie de los canales de la cordierita (matriz de silicato de aluminio y magnesio); este sistema mejora notablemente el rendimiento del motor.

En las principales ciudades de la Sierra del Ecuador, los problemas de una combustión incompleta en los automotores se debe básicamente a factores como son: la altura (las principales ciudades de la Sierra se ubican sobre los 2000 metros sobre el nivel del mar), calidad de combustibles (ejemplo: el octanaje que varía entre 80 y 95, que es la gasolina comercializada por Petroecuador es inferior a los recomendados por los fabricantes de los motores de los vehículos), lo que produce un exceso de hollín, que para el caso de los convertidores catalíticos impide que se desempeñe la función del catalizador que es provocar la reacción química de los metales sobre los gases de escape, y por consecuencia evitando que cumplan la tarea para la que fueron diseñados, por lo que es necesario buscar métodos de limpieza y regeneración.

Tomando en cuenta que el convertidor catalítico al realizar su función y con el paso de tiempo de operación, se va acumulando en el mismo poco a poco restos de la combustión incompleta, lo cual hace que en el catalizador se vaya disminuyendo la capacidad para transformar los gases de escape, hasta llegar a su total deterioro, lo que obligaría a cambiarlo por uno nuevo, o en su defecto darle un mantenimiento al mismo, pero en un periodo prudente de uso.

Existen aditivos con bases de hidrocarburos aromáticos que ayudan a limpiar el catalizador del convertidor catalítico, pero se incurre en el uso de productos que también generan contaminación, además los aromáticos producen cáncer de la sangre, leucemia, por lo que su uso es restringido en la gran mayoría de los

países industrializados, que llevan varios años en el control y prevención de la contaminación.

Otra alternativa a investigar es la utilización del vapor de agua saturado,

“Las moléculas de agua en este estado al interaccionar con las superficies del catalizador ocasionarían que la cordierita desplace a las moléculas de los hidrocarburos que bloquean los lugares activos de la superficie del catalizador junto con el hollín que también actúa como un agente bloqueante, logrando así la regeneración de su actividad”. Llegando a la conclusión que el mantenimiento es la opción acertada desde el punto de vista económico, en la actualidad, al no existir sistemas de regeneración de convertidores catalíticos, es imprescindible la importación de los catalizadores, siendo su valor aproximado desde 200 USD en genérico y aproximadamente los 1800 USD, para el caso de un reemplazo original en algunos casos estos valores tomados del mercado ecuatoriano. Además, no se ha encontrado la existencia de este tipo de equipos de limpieza en el exterior, principalmente por el bajo costo del convertidor catalítico, que por ejemplo en Estados Unidos es de aproximadamente 90 USD y al momento no se tiene registros de reemplazos de convertidores catalíticos, ya que los controles recién aparecen en abril del 2003, los propietarios de los vehículos y los mismos representantes de las marcas no se han percatado de si el catalizador sigue o no desempeñando su actividad, porque anteriormente no existían controles. En el presente trabajo se expone, el impacto ambiental producto de las emisiones de gases de escape, sus efectos negativos en la salud y vida de nuestro entorno en general.

Se destacan los sistemas de control de emisiones de gases en los automóviles de inyección a gasolina desarrollados para debilitar en parte los efectos negativos que producen y de esta manera reducir la emisión de estos contaminantes nocivos hacia la atmósfera, se analizarán los porcentajes de contaminantes que emitidos al medio ambiente así como el funcionamiento de los convertidores catalíticos y además un método de limpieza por medio de vapor de agua saturada en el aire, debido a que en los últimos años, se ha hecho evidente el problema de contaminación causado por el parque automotor que circula en la ciudad.

Los datos, valores y pruebas así como ideas y puntos de vista técnicos que se presentan a continuación, obviamente no guardan la intención de emitir la última palabra sobre el tema, pero sí intentan contribuir con el planteamiento de soluciones realistas y eficientes al control de las emisiones vehiculares, especialmente para los grandes conglomerados urbanos.

## **1.2 CALIDAD DEL AIRE**

El gran aumento de los niveles de contaminación del aire constituye en la actualidad uno de los problemas más importantes que afronta la sociedad en general, dado su impacto negativo sobre el medio ambiente y la calidad de vida.

El [desarrollo](#) urbano experimentado por la ciudad de Quito en los últimos años, ha provocado la degradación de la [calidad](#) del aire, causada por los contaminantes del aire emitidos principalmente como [productos](#) de la quema de combustibles fósiles en la transportación pública, en la generación de [energía eléctrica](#) y en los [procesos](#) industriales, adicionalmente la [deforestación](#) del bosque protector causada por asentamientos marginales que provocan [erosión](#) del [suelo](#), contribuyendo al deterioro mencionado.

El hecho de que la ciudad de Quito está ubicada en un valle cerrado por altas montañas, que impiden una amplia circulación de vientos, lo que dificulta la dispersión de los contaminantes, la altura de la ciudad que permite una gran [radiación](#) solar, la que fotoquímicamente transforma a los contaminantes en oxidantes, su [topografía](#) que favorece las [inversiones](#) térmicas, donde un "techo" de aire caliente atrapa y concentra los contaminantes dentro de la ciudad, el combatir [la contaminación](#) requiere de un esfuerzo permanente y creciente de los sectores públicos y privados.

### 1.2.1 Fuentes de contaminación

La principal fuente de agentes contaminantes de la atmósfera es la utilización de energía no renovable de combustiones como el carbón, [el petróleo](#) y sus derivados, que al ser combustionados producen hollín, vapores, gases nocivos, que van a la atmósfera como residuos de la actividad industrial: fábricas, centrales térmicas siderúrgicas, cementeras, [industria química](#), automotores y aviones.

Los principales contaminantes del aire son el monóxido de carbono(CO), el dióxido de carbono(CO<sub>2</sub>), el óxido de nitrógeno(NO<sub>x</sub>), además de las partículas de polvo y de metales. La presencia en abundancia de estos gases en el aire hace que este resulte tóxico para los animales, las plantas y las personas. Por lo que se refiere a estas emisiones, los transportes en los países desarrollados representan entre el 30 y el 90% del total. También hay compuestos de plomo y una cantidad menor de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno, el amianto se libera a la atmósfera al frenar el vehículo, el tráfico es también una fuente importante de dióxido de carbono.

Los motores de combustión interna, con su utilidad y funcionamiento demostraron ser uno de los inventos más útiles e importantes en el mundo entero; desde ese momento se creó un problema a nivel mundial que causaría grandes impactos al medio ambiente años después. Todo se debe a que en un motor de combustión interna funciona con un combustible fósil (obtenido de la destilación del petróleo) que necesita ser detonado para crear el torque requerido para dar giro al cigüeñal dentro de un motor; este a su vez transmite por una serie de mecanismos la fuerza hacia las ruedas que hará que el vehículo pueda moverse.

Al dar paso a esta detonación todo el combustible que esta dentro de la cámara de combustión se inflama, el mismo que al ser mezclado con aire explota, ya sea por presión y temperatura en el caso de un motor a diesel o por la presencia de un arco eléctrico en el caso de un motor a gasolina. En los motores a gasolina, el

proceso de combustión no se realiza de una manera completa prácticamente en ninguna de las condiciones de funcionamiento del motor, ya que existen una serie de variantes dentro de este que son prácticamente imposibles de controlar para que existan los parámetros ideales que favorezcan a una combustión completa de la mezcla dentro de la cámara de combustión del motor lo cual crearía que los gases de escape del motor no contengan gases nocivos para la salud y el medio ambiente.

Si existiría una combustión adecuada de la mezcla en la cámara de combustión del motor formada por aire (oxígeno y nitrógeno) y combustible (carbono e hidrógeno) se transformaría únicamente al momento de inflamarse cuando la combustión es completa en vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y nitrógeno, ninguno de los cuales es nocivo; pero a consecuencia de tener en el motor una combustión incompleta de la mezcla y al ser inflamada, los gases los cuales son emitidos al exterior se encuentran entre los anteriormente mencionados pequeñas porciones de otros productos (al alrededor del 1% ), como el monóxido de carbono  $CO$ , los óxidos de nitrógeno  $NO_x$  , hidrocarburos  $HC$  y plomo  $Pb$  los cuales son demasiado perjudiciales para la salud, y cuando se encuentran en concentraciones elevadas son considerados contaminantes y deben ser reducidos o transformados en otros productos.

### **1.2.2 Los gases contaminantes y nocivos para la salud son:**

#### **Monóxido de carbono (CO)**

Es un gas inodoro e incoloro producto de una combustión incompleta por exceso de riqueza de la mezcla (mayor porcentaje de combustible que de aire), en la que el carbono (C) no encuentra suficiente cantidad de oxígeno (O) para formar el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) su proporción en los gases de escape aumenta considerablemente en las mezclas ricas, esto determina que sea el componente esencial en las verificaciones para sacar conclusiones de la regulación y preparación de una mezcla correcta para el motor.

El efecto nefasto y nocivo que el monóxido de carbono es debido a que se fija en la [hemoglobina](#) de la [sangre](#) (glóbulos rojos), sustituyendo al oxígeno e

impidiendo el transporte de este en el organismo lo que produce daños irreparables en los seres humanos y animales. **Una concentración de tan solo el 3% en volumen de CO en el aire que respiramos normalmente puede producir la muerte en aproximadamente 30 minutos**; sin embargo, vertido en el aire se difunde rápidamente y en contacto con el oxígeno forma bióxido de carbono  $\text{CO}_2$  que no es nocivo, la transformación de monóxido en bióxido de carbono se logra simplemente mejorando el proceso de combustión.

### **Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )**

Es una gas no tóxico, fruto de una combustión completa y adecuada dentro del motor en la que las moléculas de carbono que tiene el combustible, logran mezclarse correctamente con las de oxígeno que tiene el aire, formando dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  el porcentaje en el que se encuentra generalmente este gas en el proceso de combustión de un motor es del 18% el resto de los gases no contaminantes son formados por un 9% de  $\text{H}_2\text{O}$  un 71% de  $\text{N}_2$  y un 1% de  $\text{O}_2$  gases nobles.

### **Hidrocarburos (HC)**

Los hidrocarburos son moléculas de combustible inicial e hidrocarburos parcialmente oxidados (sin quemarse). La presencia de estos gases en el proceso de combustión puede ser por dos causas principales:

- Falta de oxígeno durante la combustión (mayor porcentaje de combustible que de aire).
- Velocidad de inflamación muy baja (menor porcentaje de combustible que de aire)

A estos gases únicamente se los puede regular mejorando la entrega de mezcla y la dosificación más adecuada de combustible al motor, de acuerdo a sus requerimientos, normalmente los hidrocarburos tienen un olor penetrante y fácil de identificar, estos a presencia de la luz solar o la presencia de óxidos de nitrógeno forman productos de oxidación que irritan las mucosas y algunos de los hidrocarburos aromáticos que forman parte del combustible, como el benzpireno, son considerados cancerígenos.

## **Óxido y dióxido de nitrógeno ( NO<sub>x</sub> )**

Normalmente el nitrógeno es un gas inerte es decir no se combina con otros gases para formar compuestos, pero en condiciones de **alta temperatura** como la que se da en la combustión del motor, algunas partículas de nitrógeno se combinan con partículas de oxígeno dando paso a la formación de óxidos y dióxidos de nitrógeno ( NO y NO<sub>2</sub>), denominados generalmente NO<sub>x</sub> , donde la letra x representa la cantidad de átomos de oxígeno con los que el nitrógeno se ha enlazado para formar los compuestos anteriormente mencionados

## **Dióxidos de azufre**

Es un gas que proviene de las impurezas que contiene el combustible y provoca niebla contaminante y lluvia ácida, teniendo mayor contenido de este gas los motores que ocupan combustible de baja calidad.

## **Plomo**

El plomo está presente en los gases de escape en muy pequeñas porciones, proviene de la composición de la gasolina, a la que se le añade pequeñas cantidades para mejorar la capacidad antidetonante del combustible. Este elemento no interviene en el proceso de combustión y es vertido al final de la misma en los gases de escape en la actualidad esto ya casi ha desaparecido debido a que se hace el uso de combustibles libre de plomo en la mayoría de países del mundo.

### **1.2.3 Los contaminantes gaseosos.**

Más comunes son el monóxido de carbono, los [hidrocarburos](#), los [óxidos de nitrógeno](#), los dióxidos de azufre y el [ozono](#). Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos pero la principal fuente artificial es la quema de [combustible](#) fósil. El tipo más comúnmente reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (smog). La niebla tóxica generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores y fábricas.

### 1.2.4 Impactos de la contaminación atmosférica

Son todas aquellas consecuencias o impresiones que siguen en virtud de una acción determinada sobre el medio. La [contaminación atmosférica](#) es producida por varias consecuencias, siendo las más importantes la [lluvia ácida](#), el calentamiento global y los fragmentos de polvo atmosférico; producidas a su vez por la utilización a gran [escala](#) de los combustibles fósiles, que son los mayores contaminantes del aire. Los efectos que estos agentes provocan tienen lugar en dos [medios](#): medio abiótico y medio biótico.

#### [Lluvia ácida.](#)

Cuando los combustibles fósiles son quemados, el azufre, el nitrógeno y el carbono desprendidos se combinan con el [oxígeno](#) para formar óxidos. Cuando estos óxidos son liberados en el aire, reaccionan químicamente con el vapor de [agua](#) de la atmósfera, formando [ácidos](#) – conocidos comúnmente como lluvia ácida – entran en el [ciclo del agua](#) y, por tanto, pueden perjudicar la calidad biológica de los bosques, [suelos](#), lagos y arroyos. Las industrias que utilizan el carbón como fuente de energía son las principales fuentes en donde se produce CO<sub>2</sub>, los tubos de escape de los automóviles contribuyen con cerca de 22.000 millones de toneladas de dióxido de carbono (correspondientes a 6.000 millones de toneladas de carbón puro) y otros [gases de efecto invernadero](#) a la atmósfera terrestre cada año. La siguiente tabla muestra los efectos de la lluvia ácida.

Tabla I.1 Efectos de la lluvia ácida

<b>Medio Biótico</b>	<b>Medios Abióticos</b>
Alteración en la biología de los bosques	Alteraciones en el <a href="#">ciclo del agua</a> .
Problemas de alergia en <a href="#">seres</a> vivos	Contaminación de lagos y arroyos.
Alteración en la <a href="#">fotosíntesis</a> de las plantas	Daños en los <a href="#">suelos</a> y en la infraestructura.
Daños en los cultivos.	Contaminación del aire.

#### El [efecto invernadero](#).

Es el término que se aplica al [papel](#) que desempeña la atmósfera en el calentamiento de la superficie terrestre, la cual es prácticamente transparente a la [radiación](#) solar de onda corta absorbida por la superficie de [la tierra](#); gran parte de esta radiación se vuelve a emitir hacia el exterior con una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos, pero es reflejada al interior por gases como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los carbonos y el ozono, presentes en la atmósfera. La influencia de cada uno de estos gases en el efecto de invernadero se ha calculado en porcentajes, en la siguiente tabla.

**Tabla I.2. Influencia de los gases en el efecto invernadero**

<b>CO2</b>	<b>CH4</b>	<b>CFC</b>	<b>O3</b>	<b>N2O</b>
Causa alrededor del 30% del efecto	Causa alrededor del 20% del efecto	Causa alrededor del 30% del efecto	Causa alrededor del 12% del efecto	Causa alrededor del 6% del efecto

El [efecto invernadero](#) natural que suaviza el clima de la Tierra pero en proporciones bajas es lo normal ya que sin este efecto invernadero natural las temperaturas caerían aproximadamente a -30 °C. A esta temperatura y sin el equilibrio que proporciona el efecto invernadero en condiciones normales los océanos podrían congelarse, y la vida, tal como la conocemos, sería imposible.

Para que este efecto se produzca, son necesarios estos gases pero en proporciones adecuadas. Lo que preocupa a los climatólogos es que una elevación de esa proporción producirá un aumento de la temperatura debido al [calor](#) atrapado en la baja atmósfera debido al aumento de gases contaminantes y en especial los que son producidos por la inflamación de combustibles fósiles con un alto contenido de carbono.

Los incrementos de CO<sub>2</sub> medidos desde 1958 muestran una concentración que se incrementa a una tasa de cerca de 1.5 ppm (partes por millón) por año. De hecho, resulta evidente que el incremento es más rápido de lo que sería un incremento lineal y es debido al aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de nuestro planeta.

### 1.3 PROBLEMAS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Desde las dos últimas décadas, el parque automotor se ha incrementado de forma acelerada en las ciudades principales, contribuyendo al aumento de la contaminación atmosférica como resultado de los gases que son emitidos a través de los tubos de escape; entre los cuales se destacan: el monóxido de carbono—CO—, óxidos de nitrógeno —NOx— e hidrocarburos no quemados —HC—. Sin embargo, la mayoría de los automóviles no emiten las mismas cantidades de gases contaminantes, ya que su grado de contaminación obedece a varias razones, algunas de ellas son: la clase de motor que usan, el tipo y la calidad del combustible empleado y las características geográficas de ubicación; por ejemplo, en el caso de los automóviles de combustión a gasolina se emite gases monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, mientras que en el caso de los automóviles que utilizan motores diesel los gases emitidos en especial son hidrocarburos no quemados, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y material particulado tóxico.

#### 1.3.1 Impactos de la contaminación del aire

En los últimos años se han efectuado algunos estudios respecto a la relación existente entre la presencia de los contaminantes y la [salud pública](#), que representan los primeros esfuerzos en evaluar estas [variables](#), por lo que sus conclusiones deberán ser discutidas y evaluadas con mayor profundidad.

En cualquier caso, a continuación se reproducen las principales conclusiones de esos estudios. Los afectados por la contaminación atmosférica: ciudadanía, especialmente [grupos](#) humanos que viven o laboran en las cercanías de fuentes contaminantes (sectores industriales, botaderos, terminales de transportes, zonas de alto tráfico vehicular, etc.) o en zonas geográficas que reciben el arrastre de contaminantes; y grupos vulnerables ([niños](#) de la calle, deportistas al aire libre, ancianos, enfermos).

Uno de esos estudios, efectuado por la Fundación Natura, encontró que los niveles de carboxihemoglobina, un indicador biológico de la presencia de

monóxido de carbono en el aire, en los niños de las escuelas de Quito fueron más altos que los aceptados como saludables, especialmente en aquellos sujetos que habitaban y estudiaban en el Centro Histórico, considerada a la fecha una de las zonas con mayores [problemas](#) debido al pesado tráfico vehicular.

Otro estudio, más reciente, patrocinado también por la Fundación Natura, encontró que el costo de la contaminación atmosférica con respecto a la salud para el período 1991 - 2000 ascendió a algo más de 34 millones de dólares, considerando el [presupuesto](#) codificado, las admisiones hospitalarias, los [costos](#) ambulatorios, el ausentismo y la estimación de los años de vida saludable perdidos.

### **1.3.2 Efectos a la salud de gases contaminantes de un automotor**

El aire contiene suspendidos numerosos agentes nocivos, partículas orgánicas, gases procedentes de las emisiones de vehículos de combustión interna, humus, microorganismos, virus, hongos, toda clase de alérgenos, humedad, sustancias volátiles, etc., que en determinado momento pasan a la tráquea, bronquios y alvéolos, produciendo diferentes episodios de enfermedad respiratoria que van desde una afección gripal, una crisis de broncoespasmo o una neumonía bacteriana.

**La mucosa bronquial** y los movimientos ciliares son los encargados de expulsar todas las partículas extrañas, además que por su contenido en IGA (inmunoglobulina A), leucocitos y macrófagos tratan de neutralizar los microorganismos. El incremento de la polución atmosférica ha aumentado considerablemente las enfermedades de las vías respiratorias, especialmente los procesos crónicos como casos de asma crónicos.

**El pulmón** es la mayor superficie corporal que está en contacto con los componentes gaseosos del entorno. El cociente entre la superficie de intercambio gaseoso del pulmón y la superficie total del cuerpo se sitúa aproximadamente en un valor de 40 - 1. Cien metros cuadrados de epitelio respiratorio, esto es, un 60% de la superficie epitelial, entran en contacto cada

día con unos 9.000 a 10.000 litros de aire inspirado, según el profesor G. Huchon del Hospital Laenec de París.

En consecuencia, el pulmón constituye a la vez un blanco para las enfermedades ambientales y una importante vía de penetración para los contaminantes atmosféricos, que pueden ser responsables además, de patología extrarrespiratoria, pues el 70% del aire inspirado llega hasta los alvéolos, franqueando las defensas del aparato respiratorio.

Fundación Natura ha realizado dos estudios para determinar la relación de la contaminación del aire con las enfermedades respiratorias infantiles en Quito. El primer estudio, se realizó, con 900 niños y niñas en tres escuelas de Quito, ubicadas en sectores de diferente afluencia vehicular. Los resultados revelan una afección directa de la contaminación del aire en la salud de estos escolares, la cual se evidencia en los niveles de monóxido de carbono en la sangre de los niños y niñas, y en la incidencia de enfermedades respiratorias.

Existe una presencia de aproximadamente cuatro veces más episodios de asma al año que en los niños de la misma edad en ciudades, incluso con mayor número de automóviles. Los contaminantes del aire también afectan al patrimonio cultural y artístico de Quito, porque forman sustancias que corroen las estructuras civiles y esculturas de piedra, hormigón y madera, deterioran los lienzos, la pigmentación de las pinturas y destruyen pergaminos y libros.

### **1.3.3 Alternativas de solución**

En las ciudades que están creciendo hay que tener una planeación adecuada, integrar los planes económicos, urbanos y ambientales. Si va a ampliar una ciudad se debe preguntar qué impactos urbanos y ecológicos tendría esa ampliación, de este tipo de acciones se pueden tener resultados en el corto plazo; en el caso de las grandes ciudades el control es difícil de lograr, lleva tiempo y consume muchos recursos. Para combatir la contaminación hay que buscar entender los problemas específicos: se necesita información sobre cuál es la causa de estos problemas, hay que dar seguimiento a las políticas públicas y exigir resultados, apoyar programas de control de la contaminación.

Quito es la ciudad pionera en el Ecuador y la región andina en la adopción de un sistema universal y obligatorio de revisión del estado mecánico, de [seguridad](#) y de emisiones. Esta medida es indispensable en nuestra ciudad, debido a su altitud y [topografía](#), que demandan un esfuerzo mayor de las máquinas, lo que deriva en una mayor generación de gases y partículas.

A partir del 18 de febrero de 2004 se constituyó la Corporación para el mejoramiento de la calidad del aire de Quito – CORPAIRE.

**La CORPAIRE** incluye dos unidades técnicas, que funcionaron separadamente a lo largo del año 2003:

- Red de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMAQ)
- Revisión Técnica Vehicular (RTV)

#### **Son objetivos de esta Corporación**

Dirigir el proceso de revisión vehicular y fiscalizar la operación de los Centros de Revisión y Control existentes en el D. M. Q.;

Dirigir el control, monitoreo, simulación y mejora de la calidad del aire en el D. M.

#### **La revisión técnica vehicular (RTV)**

Se realiza en seis centros de revisión que fueron construidos y son operados por dos empresas privadas. El [contrato](#) de [inversión](#) privada y prestación de servicios esta vigente desde marzo del 2003 y tiene una duración de 10 años.

### **1.3.4 La necesidad de implantar el proceso de revisión técnica vehicular**

La revisión técnica vehicular incorpora los conceptos de inspección y mantenimiento de los automotores, en la necesidad de conseguir un funcionamiento adecuado de los vehículos que circulan en la ciudad.

Los usuarios son “incentivados” a través de esta medida a regular adecuadamente los motores de sus automotores y a mantenerlos en buen estado durante todo el periodo de vida útil. Se realiza una inspección anual obligatoria a todos los vehículos particulares, y dos veces por año, en el caso de los vehículos públicos. Las ventajas ambientales y de seguridad de la implementación de este sistema son evidentes:

#### **Reducción de los altos índices de accidentabilidad**

Ocasionados por las malas condiciones de funcionamiento, especialmente de los vehículos de uso público. La implementación de un sistema periódico de revisión permite descubrir la presencia de fallas mecánicas y por tanto, mejorar la seguridad vial.

#### **Mejora del parque automotor**

La revisión obligatoria periódica de los automotores conduce a la búsqueda de tecnologías automotrices menos contaminantes, que por otro lado, demandan una continua capacitación de los mecánicos. A la vez se incentiva la renovación del parque automotor, pues los vehículos de tecnología anticuada tienen mayores problemas con el proceso de revisión técnica vehicular. Igualmente, los usuarios buscan que los vehículos nuevos incorporen modernas tecnologías de control de emisiones, y cumplan con los estándares exigidos en la revisión.

#### **Focalización del problema**

Con la realización de un control periódico de emisiones se puede identificar al grupo de vehículos causantes de la mayor parte de las emisiones contaminantes, y por tanto dirigir políticas específicas para su control.

Un programa de revisión técnica vehicular, que incluye control de emisiones, no puede por sí solo resolver el problema de la contaminación del aire, aún siendo los vehículos

su principal fuente, ya que existen adicionales factores climáticos, tecnológicos, económicos y sociales que tienen influencia directa en el problema; existen también otras fuentes de emisión, como industrias, canteras y otros. Sin embargo, las ventajas ambientales de este control son pasos vitales en el proceso de mejoramiento sostenido de la calidad del aire de la ciudad.

### Otras alternativas de solución

#### Mejoramiento de la calidad de los combustibles

Petroecuador a través de su filial Petroindustrial ha solicitado al Instituto Ecuatoriano de Normalización, el aumento en el contenido de compuestos aromáticos y benceno, en las gasolinas de producción nacional. La justificación de esta solicitud ha sido realizada considerando el ahorro en recursos que esta medida produciría. Los incrementos son considerables ya que se duplicará la cantidad de benceno y se incrementaría el 50 por ciento de aromáticos, como se ve en la tabla I.3

**Tabla III.3. Contenido de compuestos aromáticos en las gasolinas**

<b>Gasolina Extra</b>		<b>Gasolina Súper</b>	
<b>80 Octanos</b>		<b>89 Octanos</b>	
Valores Anuales	Propuesta Petroecuador	Valores Anuales	Propuesta Petroecuador
Compuestos Aromáticos			
20 % V	30% V	30 % V	35 % V
Benceno			
1 % V	2 % V	2 % V	2 % V

Esto implicará que en los periodos de mayor circulación vehicular se esperarían concentraciones de aproximadamente 1200 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] de benceno. Considerando que en las áreas residenciales de ciudades de países desarrollados la concentración del benceno en el aire es de 30 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], y que una persona que fuma 20 cigarrillos al día puede experimentar un ingreso diario de benceno de aproximadamente de 600 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Lo más recomendable sería producir combustibles con cantidades de compuestos aromáticos y benceno en una proporción semejante a la recomendada por los fabricantes de los vehículos y a lo que establecen las normas internacionales. Para así obtener combustibles de mayor calidad, que se quemen de manera adecuada y por consecuencia ayuden a mejorar la calidad del aire.

Otra alternativa es el empleo de alcohol etílico como agente elevador de octanaje, pero para ello se requiere de un plan integral, en el que se pueda asegurar la producción de caña de azúcar, para su posterior procesamiento, ya que en la actualidad la producción de caña está orientada exclusivamente a la elaboración de azúcar y pocas cantidades de alcohol.

### **Incorporación de automóviles con tecnología actualizada**

El país hasta la actualidad ha adquirido vehículos que responden a técnica desarrollada en los años ochenta y por lo tanto generan un alto grado de contaminación. Tomando en cuenta que a partir de agosto del año 1999, todos los vehículos importados y fabricados en el país deberían estar provistos de convertidor catalítico, inyección electrónica y sensores de oxígeno. Pero la incorporación de nuevas tecnologías debe estar ligada directamente a la calidad de los combustibles y a la capacidad tecnológica y económica de la sociedad.

## **Mantenimiento adecuado de los vehículos que circulan en la ciudad**

Una alternativa importante de solución sería el mantenimiento adecuado de los automotores. Un programa de mantenimiento vehicular para disminuir la contaminación, lo está desarrollando actualmente la Fundación Natura en conjunto con el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, con el apoyo técnico y financiero de la Cooperación Suiza para el Desarrollo, el Ministerio de Transporte y de Salud. Se trata de incentivar el mantenimiento de los automotores para que circulen en forma óptima y emitan la menor cantidad de contaminantes. Con esto se puede ahorrar un 30 por ciento de combustible y disminuir las emisiones en un 50 por ciento. Para esto, existirán cursos de capacitación para los mecánicos y se establecerán centros de verificación, encargados de medir anualmente las emisiones de todos los vehículos que circulen en el Distrito Metropolitano de Quito. Este control será obligatorio como un requisito previo a la matriculación.

El proyecto Calidad del Aire de Quito, desarrollado en conjunto por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y Fundación Natura, se planificó de la siguiente manera: Se realizan muestreos y análisis periódicos de gasolinas y diesel en el terminal del Beaterio y en distintas estaciones de servicio de la ciudad, a fin de monitorear la calidad de los combustibles que se consumen en el distrito metropolitano. Estos estudios ayudarán a impulsar la adopción de mejores políticas ambientales, energéticas y de salud pública.

Como parte del proyecto, se efectuó la implementación y puesta en marcha del sistema integral centralizado de revisión técnica vehicular, que permitirá ejercer un efectivo control sobre todos los vehículos que circulan en el Distrito Metropolitano de Quito. Estos controles iniciaron a partir de abril del 2003, en los centros de revisión vehicular (CRCV), en donde se miden los niveles de emisiones, estado mecánico de la suspensión, frenos, dirección y demás sistemas que involucran a los vehículos, de esta manera se otorgará el permiso de circulación, requisito indispensable para la matriculación.

## **Mecanismos de control y solución de emisiones de contaminantes vehiculares.**

### **Normas exigidas para vehículos livianos**

- 2000 Exigencia del convertidor catalítico
- Normas más estrictas a partir del año 2003 para vehículos a gasolina y gas (GNC y GLP)
- Todo vehículo que ingresa debe ser homologado para determinar si cumple estándares de emisión.

### **Tecnología vehicular**

- Catalizadores de tres vías
- Relación aire - combustible
- OBD
- Inyección de aire
- Catalizador de oxidación y reducción
- Inyección electrónica de combustible
- Optimización de combustión

### **Calidad de combustibles**

- Estándares de combustibles
- Biocombustibles
- Reducir de 50 a 15 ppm el contenido de azufre (2011) Diesel.
- Reducir de 30 a 15 ppm de azufre en gasolina.

## **1.4 COMBUSTIÓN Y CATALIZADORES**

### 1.4.1 COMBUSTIÓN EN MOTORES A GASOLINA, RELACIÓN LAMBDA Y SUS CARACTERÍSTICAS.

#### 1.4.2 La combustión

Si se combina una sustancia con oxígeno, el proceso se denomina oxidación y la combinación obtenida recibe el nombre de óxido. En toda oxidación se libera calor. Cuanto más rápidamente se desarrolla la oxidación tanto más elevadas son las temperaturas que se alcanzan. Una oxidación muy rápida, con fuerte desarrollo de luz y calor recibe el nombre de "combustión". Cuando se sustrae el oxígeno a un óxido, se produce una reducción. El motor de combustión interna es un ejemplo de transformación de la energía por medio de la combustión.



En una combustión intervienen una sustancia combustible, oxígeno y una temperatura de encendido. En la combustión se combina el combustible con oxígeno del aire. Los combustibles industriales como la gasolina, el benzol, el gasóleo y el acetileno, son compuestos de carbono e hidrógeno. Sólo se queman en estado gaseoso.

El aire consta de alrededor de 1/5 de oxígeno y 4/5 de nitrógeno. Para que en él pueda iniciarse una combustión ha de llevarse el combustible a su temperatura de inflamación o temperatura de auto-ignición. La temperatura de auto-ignición de la gasolina varía entre 450°C y 550°C. Cuanto mayor sea la velocidad de combustión, más alta es a temperatura de combustión.

Las primeras reacciones químicas se inician con el suministro de un mínimo de energía de encendido del arco eléctrico constituyen la denominada fase de inflamación. La duración de esta fase es casi constante y sólo depende de la

composición de la mezcla. Esto significa un retraso del encendido (tiempo entre el salto de chispa, en el desarrollo de presión) que prácticamente aumenta y varía con la relación  $\lambda$ , al aumentar el número de revoluciones del motor. Una mezcla ligeramente rica en combustible estará mejor dotada para la reacción química; el exceso de combustible favorecerá la formación de los átomos de hidrógeno

No obstante, la reacción química no es la historia completa de la propagación de la llama, el desarrollo de la liberación de calor viene determinado principalmente por la forma de la cámara de combustión y por el punto de encendido; la duración de la combustión depende esencialmente de la velocidad de propagación de la llama (velocidad de combustión).

La fuerza de la turbulencia en la cámara de combustión o en el frente de llama puede ser modificada, entre otras cosas, por la configuración de los órganos de admisión de la mezcla, la forma de la cámara de combustión (por ejemplo, con bordes productores de turbulencia), y el grado de aprovechamiento del movimiento del pistón para la denominada circulación de compresión. También puede auto generarse por propagación de la llama y la elevación de presión relacionada con la misma, y en todo caso depende de parámetros del motor tales como: compresión, temperatura del aire de la aspiración y número de revoluciones.

La elevación de presión durante la combustión es decisiva para la evolución de la temperatura del gas al final del proceso siempre que se puedan despreciar la conductividad térmica y la radiación. Para lograr un bajo consumo de combustible (y de ello un elevado rendimiento), se debe tener un tiempo de combustión corto, o sea, velocidades de combustión elevadas, y por otro lado interesa una correcta liberación de calor de acuerdo con el movimiento del émbolo. El punto de máxima liberación de calor debería pues estar situado muy cerca (a unos  $5^\circ$  a  $10^\circ$  del cigüeñal) después del PMS.

Si el punto de desarrollo de combustión máxima está demasiado avanzado, se elevan las pérdidas de calor por las paredes y las pérdidas mecánicas (excesiva presión de combustión). Una liberación de calor retrasada conduce a una utilización desfavorable

del calor (grado de calidad) y a elevadas temperaturas de los gases de escape. La ubicación ideal del desarrollo de liberación de calor, es decir el salto de la chispa, debe asegurarse con precisión mediante un punto óptimo del encendido, teniendo en cuenta:

1. La relación de aire ( $\lambda$ )
2. La dependencia de los parámetros del motor (RPM, carga, turbulencia, etc)

El diagrama 1.1, muestra una explicación sencilla del proceso de combustión de la mezcla combustible más comburente, en los motores a gasolina; tanto combustión ideal (teórica), como combustión real. Indicando en los dos casos los productos que se obtiene del proceso de combustión de gasolina y aire, puntualizando los eliminados por la gasolina y los eliminados por el catalizador del convertidor catalítico.

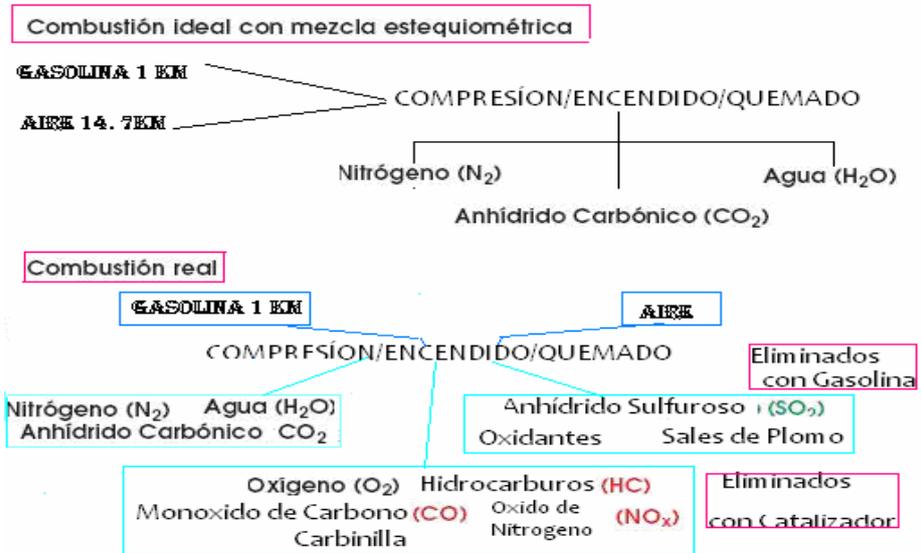
### **Relación lambda ( $\lambda$ ) y sus características de mezcla**

Se define a la relación lambda ( $\lambda$ ) como indica la ecuación 1.1

$$\lambda = \frac{X}{14.7} \quad (1.1)$$

Donde ( $\lambda$ ), es la relación lambda, y (X) el peso real de aire consumido por kilogramo de gasolina, que el motor tiene en ese momento. La relación ideal aire-combustible es de 14.7 [Kg] de aire que se deberían consumir por 1 [Kg] de gasolina. Supongamos que el motor esta funcionando con una mezcla un poco rica, por ejemplo con una relación 13.8:1, entonces la relación lambda será,  $\lambda = 13.8 / 14.7$ . Vemos que este valor será 0.9.

### **Diagrama 1.1 Combustión Ideal y Real del MCI.**



En la tabla I.4 y I.5, se indican los rangos de la relación lambda con sus respectivas consecuencias; una relación lambda menor que 1, significa que la mezcla aire combustible se esta produciendo en una condición de riqueza. Una relación lambda mayor que 1, significa que la relación aire combustible se esta efectuando en una condición de pobreza.

**Tabla I.4. Relación Lambda**

Casos según mezcla real (X)

X	Aire	Mezcla	$\lambda$
< 14.7	Defecto	Rica	< 1
= 14.7	Equilibrio	Estequiométrica	= 1
> 14.7	Exceso	Pobre	> 1

**Tabla I.5. Relación Lambda**

<b>Mezcla</b>	<b>%</b>	<b>Consecuencias</b>
	< 0.75	El motor se ahoga y la mezcla no inflama por lo que el motor deja de funcionar
Rica	0.75 ÷ 0.85	Mezcla demasiado rica, que en uso instantáneo, proporciona incrementos de potencia
	0.85 ÷ 0.95	Potencia máxima en régimen continuo (pendiente, adelantamientos...)
Normal	0.95 ÷ 1.05	Conducción normal (regimenes de crucero)
	1.05 ÷ 1.15	Mínimo consumo con ligera perdida de potencia
Pobre	1.15 ÷ 1.30	Disminución considerable de potencia con aumento de consumo por pérdida de rendimiento.
	> 1.30	El motor no funciona, no se propaga la llama.

Tengamos presente algo muy importante: Una relación lambda igual a 1, significa que el aire y el combustible han sido mezclados en la proporción exacta, lo que no implica que el motor después queme bien esos productos. Esto puede interpretarse como que a pesar que la mezcla es correcta, el motor puede tener deficiencias y quemar mal esa mezcla. Este concepto es importante porque nos puede indicar problemas en el motor, como una mala puesta a punto de la distribución, un encendido defectuoso, combustiones desparejas por inyectores sucios.

Los motores que trabajan con mezclas pobres, son muy económicos pero en contrapartida tienen el inconveniente de ver aumentada la concentración de óxidos de nitrógeno emitida. En cambio una disminución de la relación lambda a valores inferiores a 1, mezcla rica, influye en la mayor emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar.

### **1.4.3 TIPOS DE GASES PRODUCIDOS EN LA COMBUSTIÓN Y SUS CONSECUENCIAS**

Los gases emitidos por un motor de combustión interna a gasolina son principalmente de dos tipos: nocivos para la salud y los no contaminantes.

Los gases no contaminantes están formados fundamentalmente por nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno. Y los gases nocivos para la salud están formados fundamentalmente por el monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados (HC), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y plomo.

#### **1.4.4 Gases no contaminantes**

- a)** El nitrógeno, es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79 por ciento. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno.
  
- b)** El oxígeno, es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21 por ciento. Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape.

- c) El vapor de agua, se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del hidrógeno y se libera junto con los gases de escape (figura 1.2).

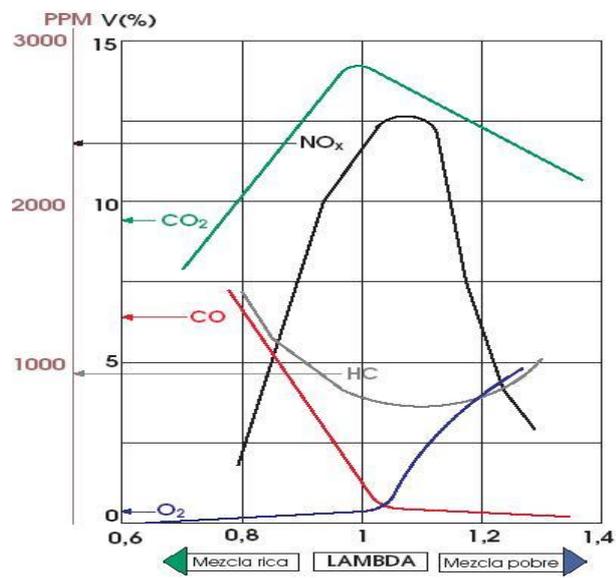
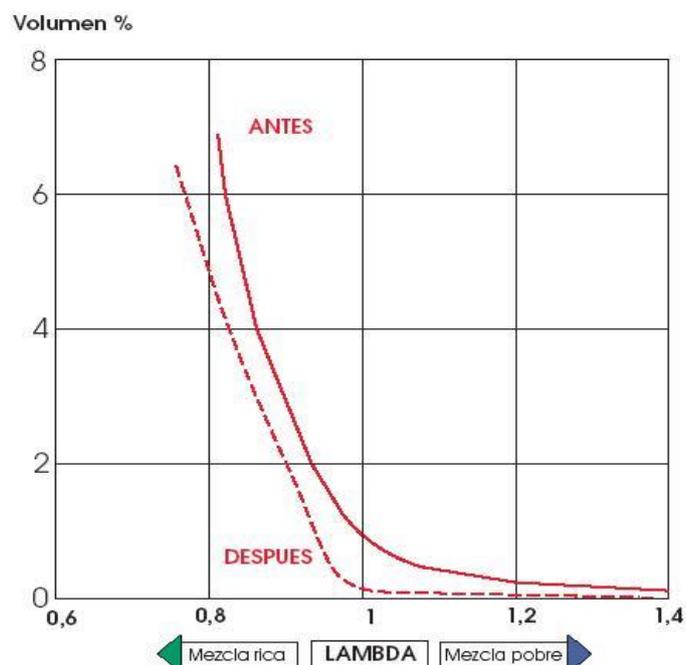


Figura 1.2 Emisión de gases en función de la relación lambda para un motor a gasolina antes del catalizador

- d) El dióxido de carbono, producido por la combustión completa del carbono no resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis. Se produce como consecuencia lógica de la combustión, es decir, cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala (el llamado efecto invernadero)

#### 1.4.5 Gases nocivos para la salud

- a) El monóxido de carbono, en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 por ciento en volumen resultan mortales. La falta de oxígeno en la combustión hace que ésta no se produzca completamente y se forme monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono. En un vehículo, la aparición de mayores concentraciones en el escape de CO indica la existencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno. La figura 1.3 muestra las emisiones de CO (gasolina parcialmente quemada) antes y después del catalizador; la gráfica permite comprobar la actividad que realiza el catalizador, ya que después de este dispositivo y con una relación lambda cercana a 1, las emisiones de CO se reducen significativamente.

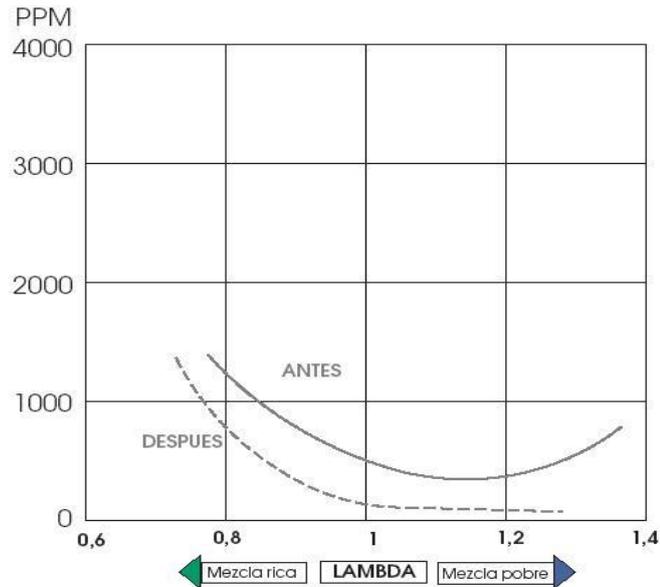


### Figura 1.3 Emisiones de CO antes y después del catalizador

- b)** Los hidrocarburos, dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El benceno por ejemplo es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas. El benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer. La presencia de los hidrocarburos se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de aldehídos y fenoles.

La presencia simultánea de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, rayos ultravioleta y la estratificación atmosférica conduce a la formación del smog fotoquímico, de consecuencias muy graves para la salud de los seres vivos. Los óxidos de nitrógeno no sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación.

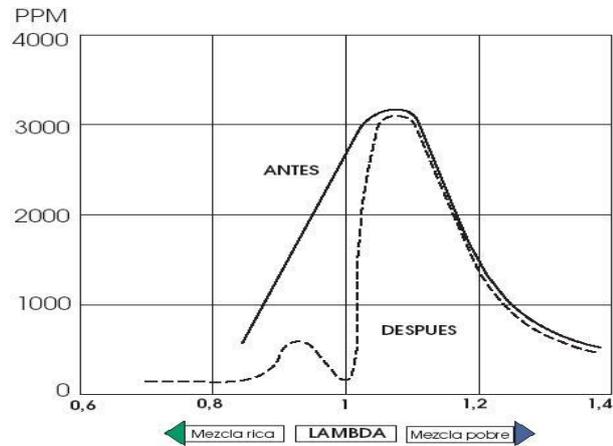
La figura 1.4 muestra las emisiones HC (gasolina sin quemar) antes y después del catalizador; la gráfica permite comprobar la actividad que realiza el catalizador, ya que después de este dispositivo y con una relación lambda cercana a 1, las partes por millón de hidrocarburos se reducen significativamente.



**Figura 1.4 Emisiones de HC antes y después del catalizador**

- c)** El plomo, es el metal más peligroso contenido en los aditivos del combustible. Inhalado puede provocar la formación de coágulos o trombos en la sangre, de gravísimas consecuencias patológicas. Se encuentra presente en las gasolinas en forma de tetraetilo de plomo y se utiliza en su producción para elevar su índice de octano y, también, en motorizaciones antiguas como lubricante de los asientos de válvulas. En las gasolinas sin plomo se ha sustituido este metal por otros componentes menos contaminantes que también ayudan a elevar el octanaje.
- d)** Los óxidos de Nitrógeno no sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación. La figura 1.5 muestra las emisiones de  $\text{NO}_x$  (óxido de nitrógeno) antes y después del catalizador; la gráfica permite comprobar

la actividad que realiza el catalizador, ya que después de este dispositivo y con una relación lambda cercana a 1, las emisiones de NO<sub>x</sub> disminuyen.



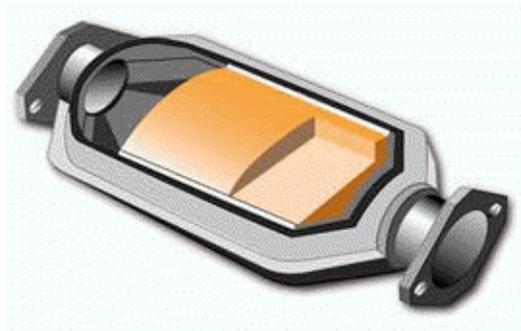
**Figura 1.5** Emisiones de NO<sub>x</sub> antes y después del catalizador

#### 1.4.6 Emisiones del escape

Las emisiones del escape son causadas por el proceso de combustión. Después de la chispa inicial, se produce un encendido retrasado mientras el núcleo de la llama creado por la chispa crece. La llama luego se expande a través de la cámara de combustión. La rapidez con la que ocurre esto está determinada por la velocidad de la llama, la cual está en función de la relación aire-combustible, temperatura y nivel de turbulencia. El incremento en volumen de los gases quemados tras el frente de llama acelera la carga externa no quemada. Por lo general la presión en el cilindro aumenta, incrementándose la temperatura de la carga no quemada. Finalmente, los elementos de la mezcla no quemada permanecen quemándose cuando el pistón desciende.

### 1.4 CONVERTIDORES CATALÍTICOS

En la actualidad existen millones de vehículos de gasolina circulando por el mundo y cada uno de ellos es una fuente de contaminación. En ciudades grandes, la contaminación de estos vehículos puede ocasionar problemas graves. Para solucionar este problema los gobiernos de algunos países han establecido leyes que limitan la cantidad de contaminantes que un vehículo puede generar, lo que obligó a la industria automotriz a buscar medios para hacer más eficientes y menos contaminantes sus motores. Sin embargo, por más eficiente que sea un vehículo de gasolina siempre genera una cantidad de contaminantes, esto es precisamente lo que motivó al uso del convertidor catalítico (figura 1.6).



**Figura. 1.6 Convertidor catalítico**

El convertidor catalítico es un dispositivo que forma parte del sistema de control de emisiones del vehículo, ayuda a disminuir los gases nocivos de un vehículo. Un catalizador es una sustancia que hace posible ó acelera un proceso químico, permaneciendo inalterada. Frecuentemente se emplea como catalizador el amianto platinado. Con la ayuda de catalizadores y bajo elevadas presiones se combina el nitrógeno con el hidrógeno para producir amoníaco  $\text{NH}_3$  gaseoso.

La combustión incompleta produce compuestos inestables desfavorables al organismo humano, al entrar los gases de escape a la zona del panel en presencia de calor, se generan reacciones químicas que transforman los gases nocivos en otros, de moléculas muy estables, que no perjudican a los seres vivos. El convertidor catalítico es un dispositivo de postratamiento para los gases de escape con el objeto de tomar gases de poca estabilidad molecular (dañinos al cuerpo humano) para convertirlos en productos de alta estabilidad molecular y con casi nula reactividad en condiciones normales de presión y temperatura.

Los vehículos con convertidores catalíticos requieren del uso de gasolina sin plomo, de lo contrario el catalizador se bloquea y no permitiría el paso de los gases de escape. El uso de solamente un tanque completo de gasolina con plomo ocasionaría la degradación total del catalizador. El fósforo y azufre en la gasolina también envenenan al convertidor catalítico. Además los convertidores pueden dañarse con temperaturas excesivas, lo cual puede originarse por exceso de oxígeno y combustible no quemado en el escape.

Comúnmente son usados dos tipos de convertidores catalíticos en los motores de vehículos: catalizadores de oxidación (dos vías) que controlan emisiones de hidrocarburos y monóxidos de carbono; y el otro tipo es el catalizador de oxidación-reducción (tres vías) que controlan los hidrocarburos, monóxidos de carbono, y óxidos de nitrógeno. Un nuevo tipo de convertidor catalítico es el catalizador de óxido de nitrógeno pobre, el cual reduce las emisiones de óxido de nitrógeno en condiciones de mezcla pobre, donde el catalizador de tres vías es ineficiente.

## **Tipos del convertidor catalítico**

### **Primera generación de convertidores catalíticos**

Al principio, el catalizador solamente fue requerido para tratar (CO) y (HC). El (NOx) no se lo tomó en cuenta, por ello los fabricantes usaron la recirculación de los gases de escape (EGR). La EGR disminuye la asfixia por combustión con gas y baja la temperatura de la llama de combustión.

El motor fue operado solamente con una mezcla estequiométrica rica para reducir la formación de (NOx), y el aire secundario fue bombeado al gas de escape para proveer suficiente (O<sub>2</sub>) por la oxidación catalítica de (CO) y (HC) en el catalizador.

Durante este período, algunos materiales catalíticos fueron estudiados, y el área de estabilización de temperatura alta de alúmina se vio analizada. Fue descubierto que los metales preciosos platino y paladio son catalizadores de oxidación excelentes; Sin embargo, el costo y suministro de estos materiales es elevado. Por lo tanto se dio como candidatos a metales inferiores, tal como cobre, cromo, níquel y manganeso.

De las actividades relativas, está claro que los metales preciosos son considerados más activos que los metales inferiores. También, la actividad depende de la especie a ser catalizada. El paladio es el más apropiado para la reducción de (CO) y oxidación de etileno, también el platino es del mismo modo activo para oxidación de etano. Los metales preciosos, por lo tanto, son preferidos sobre los metales inferiores. El óxido de metal inferior podría ser viable, pero su baja actividad requeriría volúmenes más grandes de reactor. Este sería un problema en el escape del motor.

Por todo esto, las primeras generaciones de catalizadores de oxidación fueron una combinación de platino y paladio, y operaban con un rango de temperatura de 250 a 600 °C, con espacio de velocidades durante la operación del vehículo, dependiendo del tamaño de motor y modo del ciclo de conducción. Las composiciones del catalizador son platino y paladio en una relación de 2.5:1 hasta 5:1.

### Catalizador de dos vías

También llamados de oxidación, de doble efecto, o de doble cuerpo, son en realidad un doble catalizador de oxidación con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos de escape, reduciendo el óxido de nitrógeno (Nox), mientras el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC). **LOS catalizadores de oxidación (figura 1.7) usan platino, paladio, o ambos para aumentar la rapidez de reacción entre el oxígeno, hidrocarburos no quemados y el monóxido de carbono en el escape. Esta reacción se produce normalmente en forma lenta. La eficiencia del catalizador depende de su temperatura, de la relación de la mezcla aire-combustible y el conjunto de hidrocarburos presentes.**

Pequeñas cadenas parafínicas como el metano, etano y propano están entre los hidrocarburos menos reactivos y son difíciles de oxidarse.

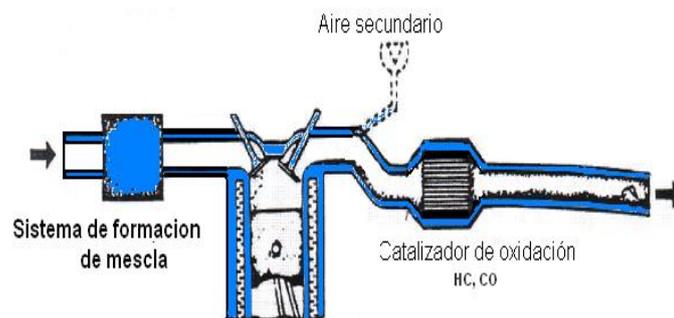


Figura 1.7 Sistema simple de un convertidor catalítico de oxidación

### Segunda generación

Siguiendo con la exitosa implementación de los catalizadores para controlar el (CO), el (HC), la reducción del (NOX), y que las emisiones en el escape del automóvil sean menos que 1.0 g / milla; se llegó al desarrollo del catalizador que muestra la figura 1.8, el mismo que pudo controlar las emisiones de los tres principales gases que arroja el motor de combustión interna a gasolina

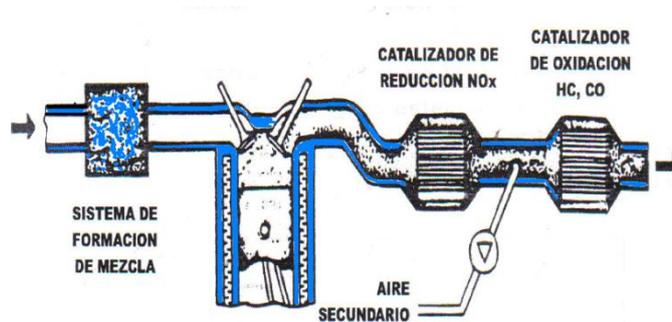
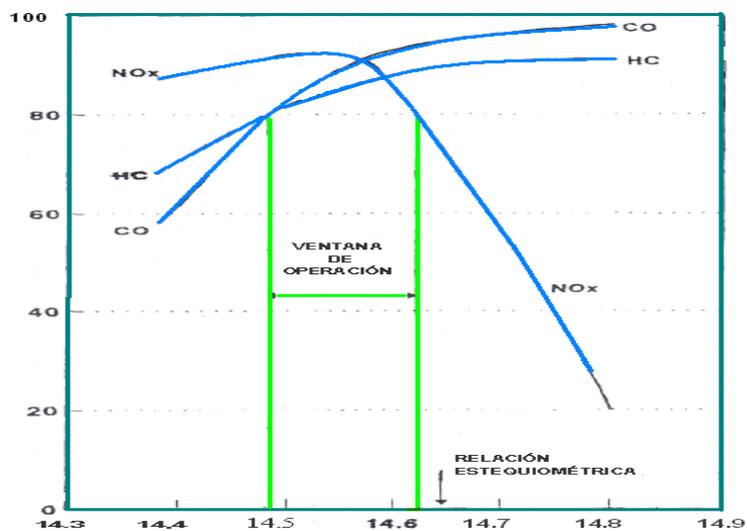


Figura 1.8 Sistema doble de un convertidor catalítico de oxidación- reducción

La reducción del (NOx) fue más efectiva con la ausencia del (O<sub>2</sub>), mientras que la disminución del (CO) y el (HC) requieren de (O<sub>2</sub>). Las emanaciones del escape del motor pueden ser reducidas bastante con un catalizador para reducir (NOx). Este podría ser colocado sobre el sistema de inyección de aire en el escape y el catalizador oxidado. Con este arreglo, el hidrógeno (H<sub>2</sub>), el (CO) y el (HC) podrían reducir el (NOx). Un catalizador primario para reducción fue el de rutenio. Sin embargo, en ocasiones que el escape del motor esté oxidado y la temperatura esté sobre los 700°C, puede formar dióxido de rutenio (RuO<sub>2</sub>) que no es precisamente el objetivo del mencionado catalizador.

En estudios previos para reducir contaminantes, el rodio también había sido mostrado para ser un excelente catalizador reductor de (NOx). Tuvo menos formación de amoníaco (NH3) que el de platino o paladio. Si el motor es operado cerca a la relación estequiométrica aire-combustible, entonces los tres agentes contaminantes podrían ser convertidos simultáneamente, y la necesidad de un reactor con inyección de aire podría ser eliminado. La Figura 1.9 muestra una curva en la cual la reducción del (NOx) ocurre cuando la mezcla estequiométrica es rica, mientras que el (CO) y el (HC) tienen insuficiente (O2) (figura 1.10).



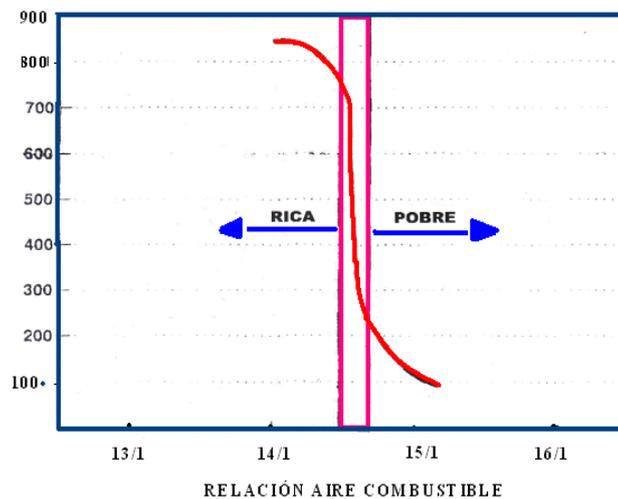
**Figura 1.9 Conversión simultanea de HC, CO y NOx para un catalizador de tres vías en fusión de la relación aire- combustible.**

Como la relación aire - combustible se acerca al punto estequiométrico, hay una estrecha conversión simultánea catalítica de los tres. En el lado pobre, las conversiones del (CO) y el (HC) son altas. Esta tecnología avanzó para mantener la relación aire - combustible del motor del automóvil dentro de estos límites. Este hecho fue posible por el desarrollo del sensor de (O2), el cual fue colocado antes el catalizador, en el colector de escape.

El sensor de oxígeno (EGO) o sensor lambda estaba compuesto de un anión electrolítico conductivo sólido estabilizado de zirconio. Un electrodo fue situado rectamente en la corriente de escape para percibir el contenido de (O2), mientras que el

segundo tuvo una posición de referencia fuera del escape; en el aire natural. El electrodo es un catalizador en el que se convierte el (HC) y e (CO); además provee suficiente (O<sub>2</sub>).

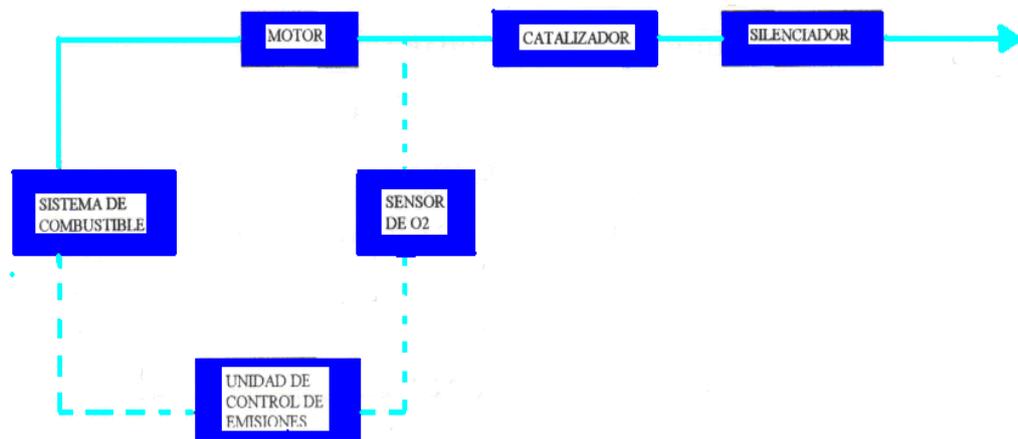
Para el correcto control de aire-combustible, el sensor lambda debe equilibrar el gas de escape. El voltaje generado a través del sensor es dependiente del contenido de (O<sub>2</sub>). El sensor es una célula de concentración de oxígeno. La señal de voltaje generada es enviada al carburador o al dispositivo de control de inyección de combustible; el cual ajusta la relación aire-combustible. La figura 1.10 exhibe el perfil de respuesta para el sensor de (O<sub>2</sub>).



**Figura 1.10 Voltaje de salida del sensor de oxígeno en función de la relación aire-combustible.**

El dispositivo total es un diseño del sistema de control electrónico muy sofisticado para mantener la relación aire - combustible dentro del estrecho límite que permita la conversión simultánea de los tres agentes contaminantes. Esta tecnología, se refirió a los catalizadores de tres vías (TWC).

Modernos sensores han sido modificados para ser más tolerantes al envenenamiento considerando que se hallaron fósforo y silicio en el escape del motor. También, para mejorar el alcance operativo del sensor de (O<sub>2</sub>) durante el funcionamiento en arranque en frío, se desarrolló un sensor de oxígeno calentado (HEGO). Un esquema del lazo de control del vehículo es mostrado en la figura 1.11.

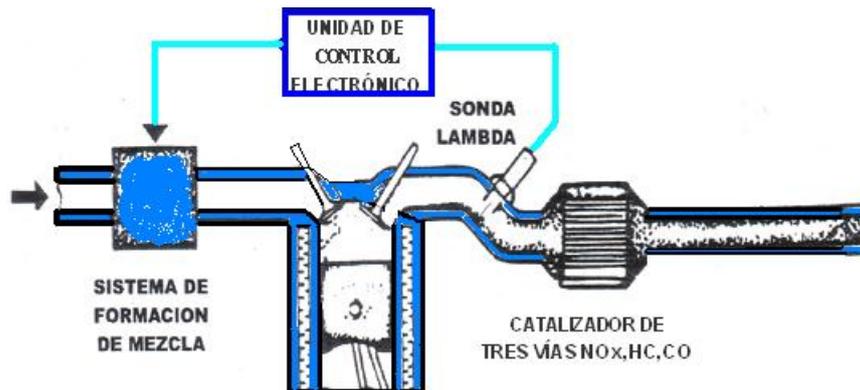


**Figura 1.11 Elementos del sistema de control de emisiones**

La tecnología de un catalizador simple se desarrolló para convertir simultáneamente los tres agentes contaminantes. El metal precioso primario ha sido el platino y el rodio, el último es el más efectivo para la reducción del (NO<sub>x</sub>). La naturaleza oscilatoria de la relación aire-combustible en el escape significa que el catalizador verá una mezcla pobre. El efecto de ésta oscilación es una prueba de platino / rodio.

### **Catalizador de tres vías**

Los catalizadores de tres vías (figura 1.12) generalmente usan una combinación de platino, paladio y rodio. Produciendo la oxidación de los hidrocarburos y el monóxido de carbono, el paladio y el rodio provoca la reducción de óxidos nítricos <NO> a nitrógeno y oxígeno.

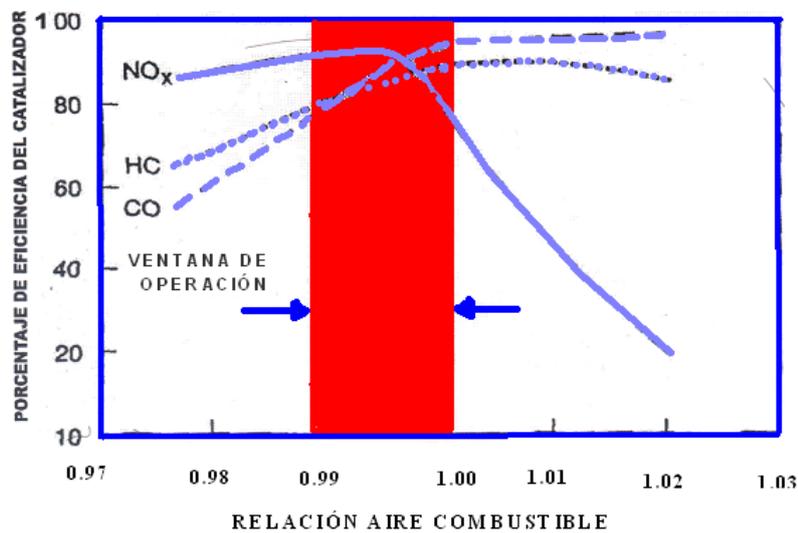


**Figura 1.12 Convertidor catalítico de tres vías**

Para una reducción eficiente del ( $\text{NO}_x$ ), se requiere de una relación estequiométrica rica. En condiciones óptimas los catalizadores de tres vías pueden oxidar los hidrocarburos y monóxido de carbono, y reducir el óxido de nitrógeno.

Son pocas las relaciones aire-combustible en que esto ocurre, y es un cambio entre el control del óxido de nitrógeno, hidrocarburos, y monóxidos de carbono.

La figura 1.13 muestra la variación de la eficiencia de los catalizadores de tres vías con la relación aire-gasolina.



**Figura 1.13 Efectos de la relación aire-combustible en la eficiencia del catalizador**

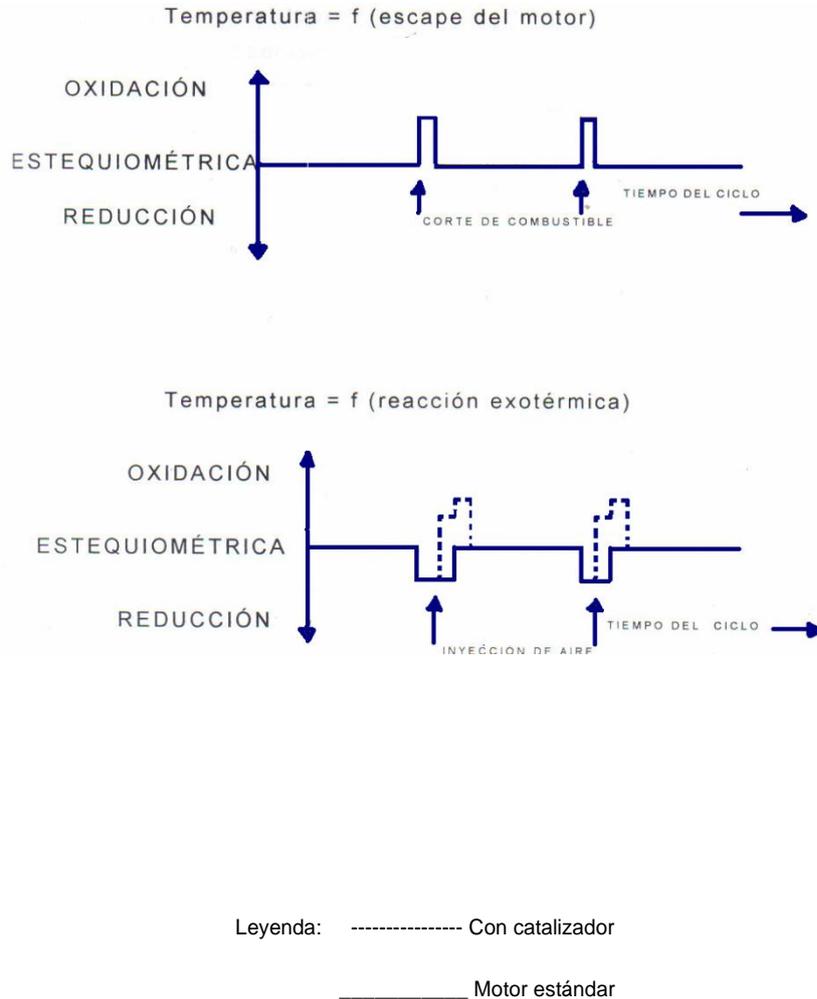
### Tercera generación

A finales de los ochentas y principios de los noventas, se requirió de un mejoramiento tecnológico porque las estrategias operacionales del automóvil iban cambiando; el ahorro de combustible fue importante, las velocidades operativas fueron aumentando.

La economía del combustible mayor fue lograda al introducir una estrategia de conducción, que se trataba del cierre o corte de combustible durante la desaceleración. El catalizador, por lo tanto, fue expuesto a atmósferas altas de oxidación que resultaron en la desactivación de la función del rodio por reacción de aluminio, formando una especie de rodio inactivo <aluminado>. Para simular estos modos de desactivación en el laboratorio, se realizaron ciclos de prueba en un dinamómetro que simulaban 50.000 millas de operación. Estos ciclos de prueba consistieron en pasos repetitivos de cambio de la velocidad del motor / carga, relación aire- combustible, y temperatura de escape. En algunos casos, el aire fue inyectado en el escape, mientras que, en otros, el motor fue conectado a un volante, y el corte de combustible real fue simulado.

La figura 1.14 nos da un resumen del motor fuera de la relación estequiométrica para los dos tipos diferentes de ciclos de prueba. Para la simulación de corte de combustible, la

carga del motor es ajustada permitiendo dar temperaturas de entrada al catalizador de 750 a 950°C.



**Figura 1.14 Descripción de los ciclos de prueba utilizando un dinamómetro**

La generación de ciclos de prueba en la superficie del catalizador usualmente tiene una temperatura de entrada de 650 a 750°C, con temperaturas de operación del catalizador de 750 a 1000°C, dependiendo de la concentración de (CO) en el escape del motor. Otros ciclos muestran el envenenamiento acelerado del catalizador porque el lubricante tiene altas concentraciones de fósforo. Una observación clara es el efecto del gas de escape mostrado en las figuras 1.15 y 1.16.

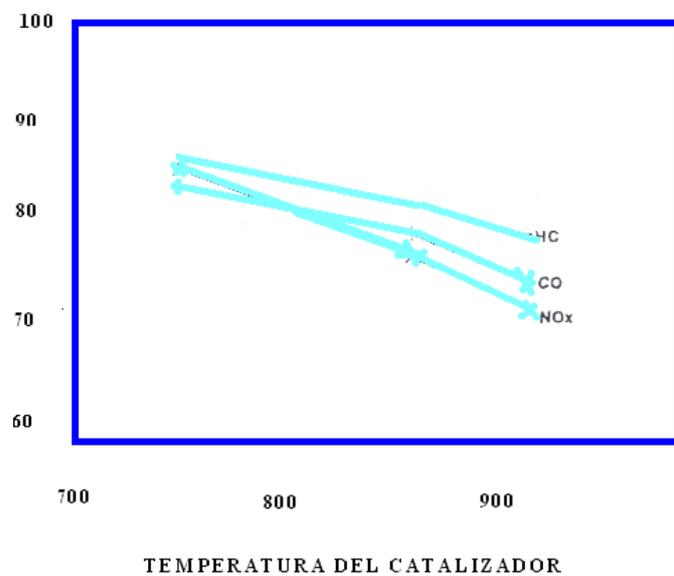


Figura 1.16 Efecto gas de escape

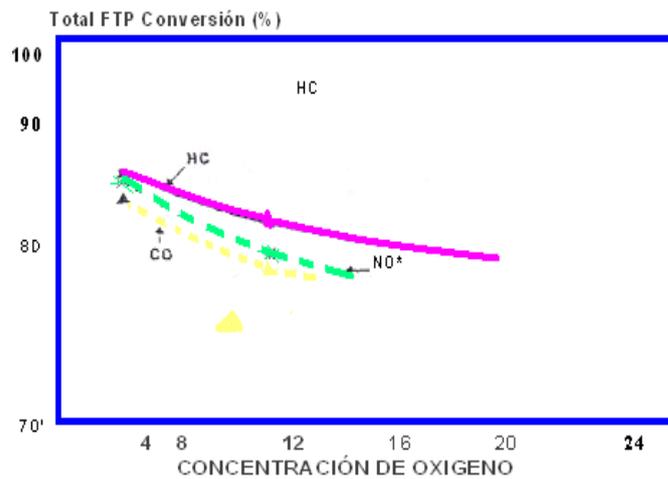


Figura 1.17 Efecto gas de escape

### 1.5.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS CATALIZADORES.

El catalizador requiere de calor de combustión (aproximadamente 260°C) para activarse o "desactivarse" y a través de las reacciones químicas que se producen en su interior añade calor al sistema de escape. Las mejores condiciones de funcionamiento de los catalizadores suceden a partir de 200°C. Un vehículo en condiciones normales de uso, arrancando en frío alcanza estas condiciones en apenas 30 segundos.

A medida que los gases de escape pasan por el catalizador, reaccionan con el recubrimiento de metales preciosos y se transforman en gases inertes como agua, nitrógeno y bióxido de carbono, menos perjudiciales a la salud. Algunos sistemas de escape pueden tener un catalizador adicional colocado más cerca del motor, esto minimiza el tiempo necesario para llegar a la temperatura de operación, ayudando de esta forma a reducir aún más los gases contaminantes cuando un vehículo arranca.

Tan pronto como funciona el motor de un vehículo, los gases de escape salen a alta temperatura (ralentí alrededor de 300°C; aceleración alrededor de 400°C) lo cual significa que en cortísimo tiempo las matrices del convertidor catalítico se someten a una abrupta alza de temperatura esto quiere decir que si no fuesen construidas del coeficiente de expansión térmica que lo son, se romperían. Para evitar este efecto, las matrices de un convertidor catalítico están constituidas de un material refractario denominado cordierita y que es fundamentalmente un silicato de aluminio-magnesio.

### **1.5.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL CATALIZADOR DE TRES VÍAS**

Son los más complejos, sofisticados y caros, siendo en la actualidad los más usados, y su evolución tecnológica ha desbancado a los catalizadores llamados de doble cuerpo en los que la oxidación de los gases contaminantes era incompleta. El mecanismo de acción del Convertidor Catalítico de tres vías, llamado así porque actúa eliminando principalmente estos tres tipos de contaminantes en el mismo compartimento, mediante reacciones de oxidación y reducción, transforma a los mismos en compuestos no tóxicos: Nitrógeno y Agua y Dióxido de Carbono.

Para ello es necesario que la proporción entre la cantidad de aire y combustible que se introduce en la cámara de combustión se ajuste a límites establecidos, cuando la relación de la mezcla aire/carburante es 14,7/1 (Coeficiente Lambda), el catalizador alcanza su máxima efectividad en la eliminación de los gases contaminantes. En los gráficos muestra como se cumple lo anteriormente descrito y además muestra la diferencia que existe cuando se usa catalizador “curvas b” o sin catalizador “curvas a” (figura 1.18).

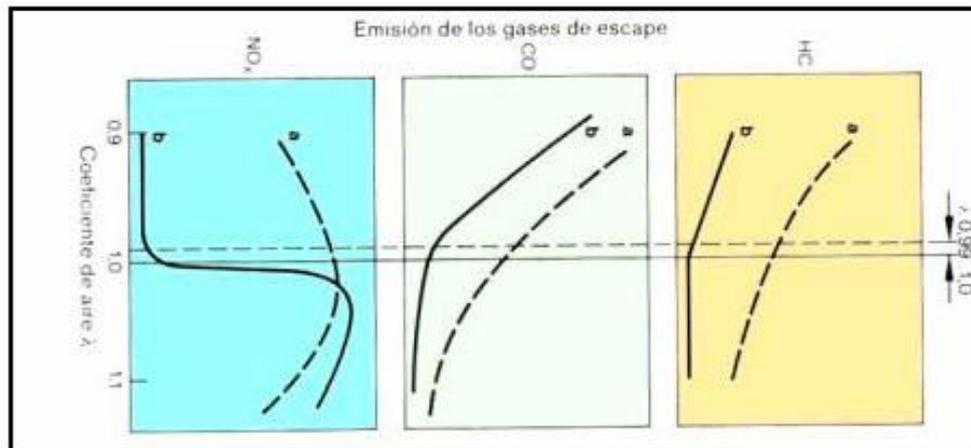
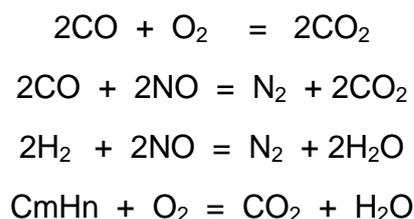


Figura 1.18 Curvas de emisión de gases de escape

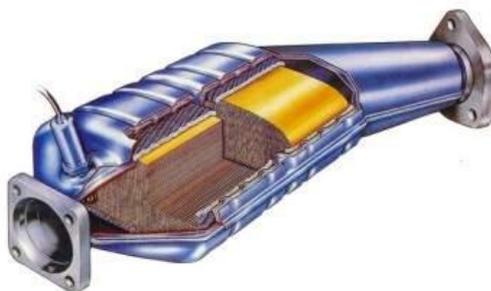
Los motores que trabajan con mezclas pobres (Lambda mayor a 1) son muy económicos pero en contrapartida tienen el inconveniente de ver aumentada la concentración de óxidos de nitrógeno emitida. En cambio una disminución del coeficiente lambda a valores inferiores a 1, mezcla rica, influye en la mayor emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar.

Los catalizadores de tres vías imponen otra condición para que su funcionamiento sea óptimo: la catálisis sólo se produce con temperaturas superiores a 250 °C, motivo por el cual el lugar físico que ocupará el convertidor será próximo al múltiple de escape. Los diseños de motores, en lo que hace a la ubicación del catalizador y/o calentamiento auxiliar del mismo, han ido evolucionando de manera de garantizar que dicha temperatura sea alcanzada en períodos de sesenta a noventa segundos. Reacciones químicas: Estas son altamente exotérmicas (liberan calor). Un esquema simple de las mismas es:





Estas reacciones son la que tiene lugar en los catalizadores de oxidación, y mediante ellas se obtienen grandes reducciones de HC y CO. Si el catalizador es de tres vías (Figura 1.19) también se eliminan los óxidos de nitrógeno.



**Figura 1.19 Convertidor catalítico de tres vías**

Algunos sistemas de escape pueden tener un convertidor catalítico adicional colocado más cerca del motor, esto minimiza el tiempo necesario para llegar a la temperatura ideal de operación mejorando la reducción de gases contaminantes.

### **1.5.3 Venenos para el catalizador**

Existen una serie de elementos, propios del combustible o incorporados como de aditivos, tanto de las naftas como de los aceites lubricantes, que actúan como venenos del catalizador y por lo tanto reducen la vida útil del mismo.

Plomo: empleado como aditivo antidetonante de las naftas es considerado el veneno más importante del convertidor catalítico, todo vehículo equipado con catalizador deberá operar exclusivamente con combustibles libres de agregado de plomo. Una sola carga de combustible con plomo es suficiente para generar la desactivación total del convertidor, inhibiendo la capacidad del mismo para completar las reacciones de combustión, estimada en aproximadamente 80.000 Km de uso, anulando su eficiencia en la preservación del medio ambiente.

Azufre: el azufre es un compuesto natural de los combustibles y tiene un efecto doble desde la óptica de las emisiones. Según los niveles de concentración actúa como un inhibidor temporario del convertidor catalítico reduciendo su eficiencia y por otro lado y con algunos diseños de convertidores catalíticos de tres vías, se genera formación de ácido sulfúrico, responsable del mal olor de las emisiones y fácilmente detestable por el usuario.

Se forma mediante la remoción del azufre depositado sobre el catalizador, bajo condiciones especiales de regulación del motor: mezcla rica y temperaturas superiores a los 500°C. Este problema denominado "contaminación secundaria". El nivel de emisión de ácido sulfhídrico puede ser acotado a través del control de la relación Aire/Combustible, lo que permite eliminar las operaciones del motor en condición de mezcla rica y la formulación de los metales empleados en el diseño del convertidor, incorporando retardadores de la reacción de formación del ácido sulfhídrico. Como se ha detallado precedentemente la mayor eficiencia del convertidor catalítico se obtiene luego de los 250 °C de temperatura y con una relación: Aire/Combustible cercana a la estequiométrica (Coeficiente Lambda=1). La figura 1.20 corresponde a las medidas efectuadas antes del catalizador y la 1.21, a mediciones efectuadas luego del catalizador.



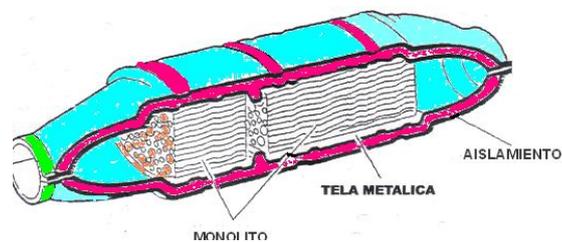
Figura 1.20 Curvas de las mediciones efectuadas antes del catalizador



**Figura 1.21 Curvas de las mediciones efectuadas después del catalizador**

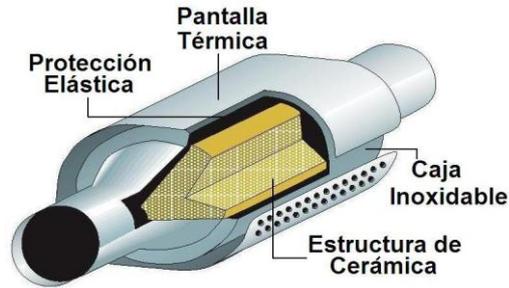
#### **1.5.4 CONSTITUCIÓN DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO**

El catalizador es un dispositivo en forma de mofle, que disminuye casi a cero los elementos nocivos de los gases de escape de un vehículo. Consta de caja de acero especial de doble pared (aislamiento) y del soporte (monolito cerámico) que lleva propiamente la capa catalítica, de un panal (preferentemente de cerámica) al cual se le han incrustado partículas de metales preciosos (Platino, Paladio, Rodio). Los monolitos cerámicos son cuerpos de cerámica atravesados por varios miles de canales pequeños, por los fluyen los gases de escape. La cerámica consta de un de aluminio y magnesio resistente a temperaturas elevadas. El monolito, extremadamente sensible a las tensiones, descansa sobre una tela metálica elástica de alambres de acero de alta aleación y está fijado en una caja de acero especial (figura 1.22).

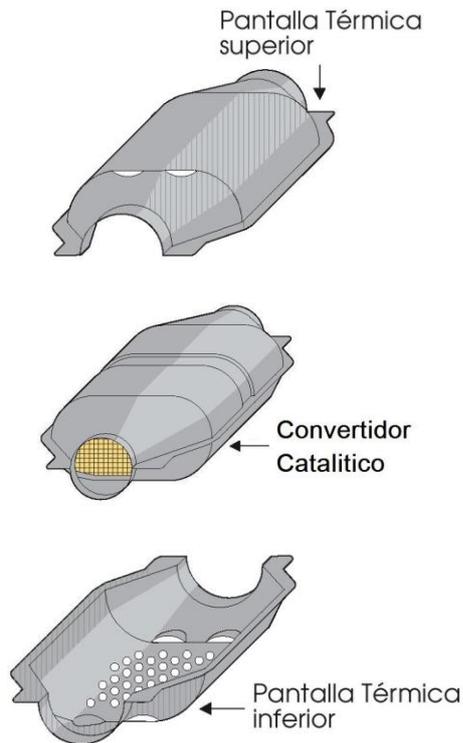


**Figura 1.22 Partes del catalizador**

En la figura 1.23, se muestra un convertidor catalítico, que exteriormente es un recipiente de acero inoxidable que tiene la forma de un silenciador. Las dimensiones exteriores de un convertidor catalítico varían de acuerdo al tamaño del motor del vehículo en el que se encuentre instalado; frecuentemente provisto de una carcasa (pantalla) metálica antitérmica, como se muestra en la figura 1.24, igualmente inoxidable, que protege el área inferior del vehículo de las altas temperaturas del sistema de escape.



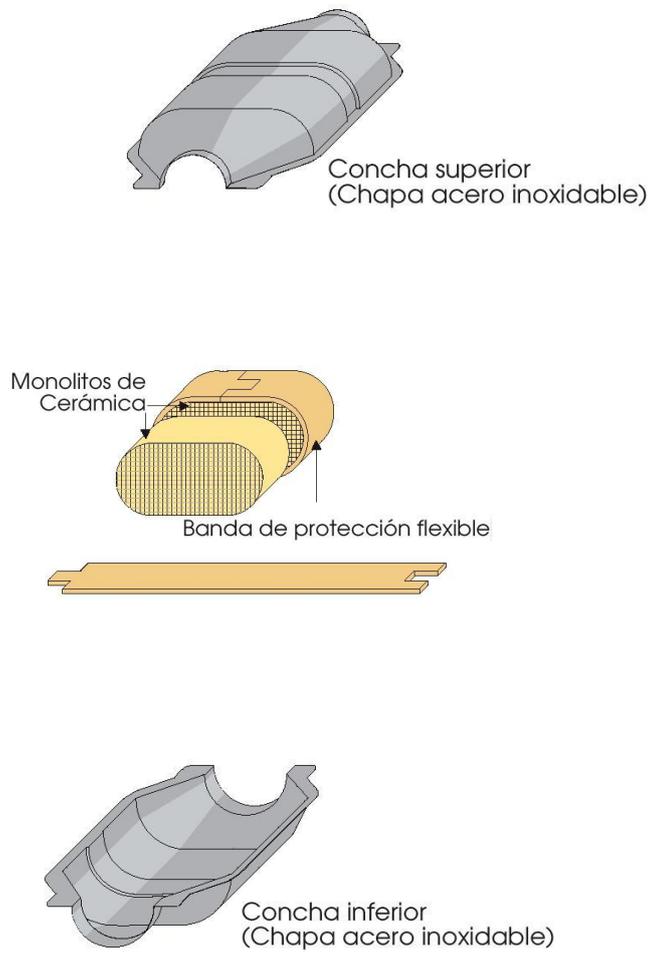
**Figura 1.23 Carcasa del convertidor catalítico**



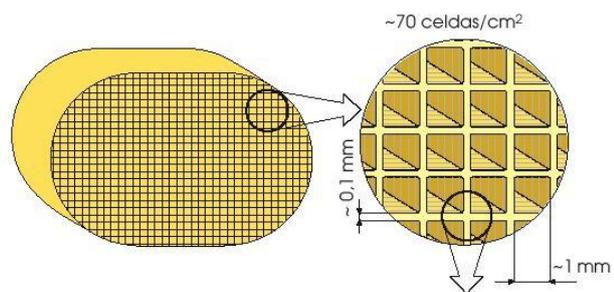
**Figura 1.24 Convertidor catalítico**

En la figura 1.25, se muestra que el interior del convertidor catalítico contiene dos matrices, que se las denomina soportes cerámicos o monolitos, de forma oval o cilíndrica, con una estructura de múltiples celdillas en forma de panal de abejas, con una densidad de éstas de aproximadamente 450 celdillas por cada  $\text{plg}^2$  ( $70 \text{ por cm}^2$ , como se muestra en la figura 1.26). Las matrices de un convertidor catalítico están constituidas de un silicato de aluminio y magnesio, llamado cordierita, que tiene la característica

principal de poseer un bajo coeficiente de expansión térmica, lo que permite que soporte los bruscos cambios de temperatura sin sufrir ninguna alteración.



**Figura 1.25 Componentes de la cámara del convertidor catalítico**



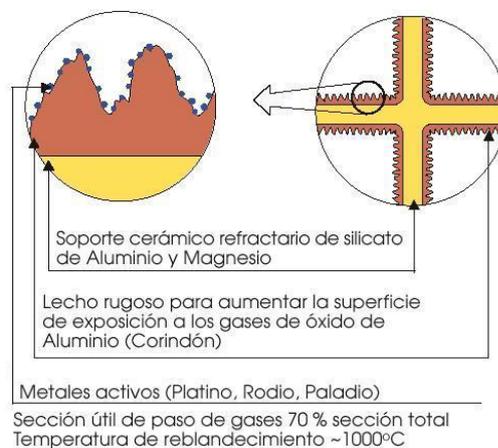
**Figura 1.26 Monolito cerámico (Matriz de Cordierita)**

### 1.5.5 Constitución interna del catalizador

Por definición, el catalizador es un elemento que acelera una reacción química. El catalizador es la mezcla de metales preciosos (platino, paladio, rodio). Pero muy a menudo el término catalizador se utiliza también para referirse al soporte con los metales preciosos, y a veces incluso al convertidor catalítico.

El catalizador esta constituido por una capa delgada de espesor irregular de aproximadamente  $1 \mu$ , que se asienta sobre las superficies de la matriz que esta constituida de cordierita que es un silicato de magnesio ( $2Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2MgO$ ) que tiene la particular propiedad de resistir el choque térmico que se origina por el súbito incremento de la temperatura aproximadamente de 20 a 700 °C. La capa delgada irregular en referencia esta constituida por oxido de cerio que se la aplica en solución de cloruro de cerio para luego por un tratamiento de secado a alta temperatura tornarse en oxido de cerio.

La figura 1.27, muestra que la superficies de las matrices se encuentran impregnadas con una resina que contiene elementos nobles metálicos, tales como Platino (Pt) y Paladio (Pd), que permiten la función de oxidación, y Rodio (Rh), que interviene en la reducción, los mismos que constituyen el catalizador propiamente dicho.



### Figura 1.27 Constitución del catalizador de tipo cerámico

Las concentraciones de estos catalizadores están alrededor de 0.1 – 0.15 por ciento, con una relación de Pt: Pd = 2.5: 1 y la relación Pt: Rh = 5:1. Por regla general, hay aproximadamente 1 a 2 gramos de metales preciosos en cada convertidor catalítico. A los convertidores que tienen el catalizador constituido por los tres metales se los llama convertidores de tres vías, en cambio cuando un convertidor contiene únicamente Pt y Pd se denomina de dos vías.

La capa delgada de óxido de cerio contiene trazas de platino, paladio y rodio; estos metales preciosos actúan como elementos activos catalizadores, es decir, inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las cuales entran en contacto, sin participar ellos mismos en estas reacciones. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador son transformados parcialmente en elementos inócuos no polucionantes.

Los metales preciosos que por sus propiedades físicas de alta estabilidad actúan en el estado metálico. La tabla I.6, muestra los coeficientes de ionización de estos tres metales.

**Tabla I.6. Coeficientes de ionización**

<b>Coeficiente de ionización</b>			
<b>Metal</b>	<b>Rodio</b>	<b>Paladio</b>	<b>Platino</b>
1, eV:	7.7	8.3	9

Por lo que antecede es evidente que la forma de aplicación sobre la superficie de la matriz soporte de estos tres elementos, es seguramente el objeto de patentes de los fabricantes de los convertidores catalíticos. La modalidad es la de aplicar estos elementos incluidos es un sistema coloidal constituido por un gel diluido de hidróxido de aluminio.

## CAPÍTULO II

### 2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE VAPOR DE AGUA SATURADO Y SU INFLUENCIA EN LA LIMPIEZA DE CATALIZADORES.

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776. Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua de cilindros verticales. Aquella fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa en el nuestro, máquinas de vapor alternativas de variada construcción han sido usadas durante muchos años como agente motor pero han ido perdiendo gradualmente terreno frente a las turbinas.

Hasta principios del siglo XVIII se usaron calderas para teñir ropas, producir vapor para limpieza, etc., hasta que Papin creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse ésta dejaba de producir trabajo útil.

Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido. Cuando James Watt observó que se podría utilizar el vapor como una fuerza económica que reemplazaría la fuerza animal y manual, se empezó a desarrollar la fabricación de calderas, hasta llegar a las que actualmente tienen mayor uso en las distintas industrias. Las primeras calderas tenían el inconveniente que los gases calientes estaban en contacto solamente con su base, y en consecuencia se

aprovechaba mal el calor del combustible. Debido a esto las instalaciones industriales fueron perfeccionándose, colocándose el hogar en el interior de la caldera y posteriormente se le introdujeron tubos, para aumentar la superficie de calefacción. Si por el interior de los tubos circulan gases o fuego, se les clasifican en calderas pirotubulares (tubos de calor) y calderas acuatubulares (Tubos de agua).

## 2.2 GENERADORES Y CALDERAS DE VAPOR

Una generador de vapor es una máquina o instalación, diseñado y construido para producir [vapor](#) de agua a elevada presión y temperatura, los hay, desde pequeñas instalaciones locales para la producción de vapor para cocción de alimentos, planchado en serie de ropa, tratamientos sépticos de instrumentales y labores similares, con vapor de relativa baja temperatura y presión, hasta enormes instalaciones industriales, utilizadas para la alimentación de turbinas de generación de electricidad, y otros procesos industriales donde se requiere vapor en grandes cantidades, a altísimas temperaturas y presiones.

Una caldera es un recipiente cerrado, lleno parcialmente de agua a la que se le aplica calor procedente de alguna fuente, tal como un combustible, [rayos solares concentrados](#), electricidad etc. para hacerla hervir y producir vapores, la caldera de vapor más elemental es la conocida [olla a presión](#), tan común en nuestros hogares.

Como estos vapores están confinados a un espacio cerrado, se incrementará la presión interior y con ello la temperatura de ebullición del agua, pudiéndose alcanzar finalmente muy elevados valores de presión y temperatura. Estos vapores se concentran en la parte superior del recipiente inicialmente vacío, conocido como **domo**, de donde se extrae vía conductos para ser utilizado en el proceso en cuestión.

Aunque el principio de trabajo es muy simple, las particularidades del proceso son complejas para un trabajo seguro y eficiente de la caldera, especialmente en las grandes instalaciones industriales.

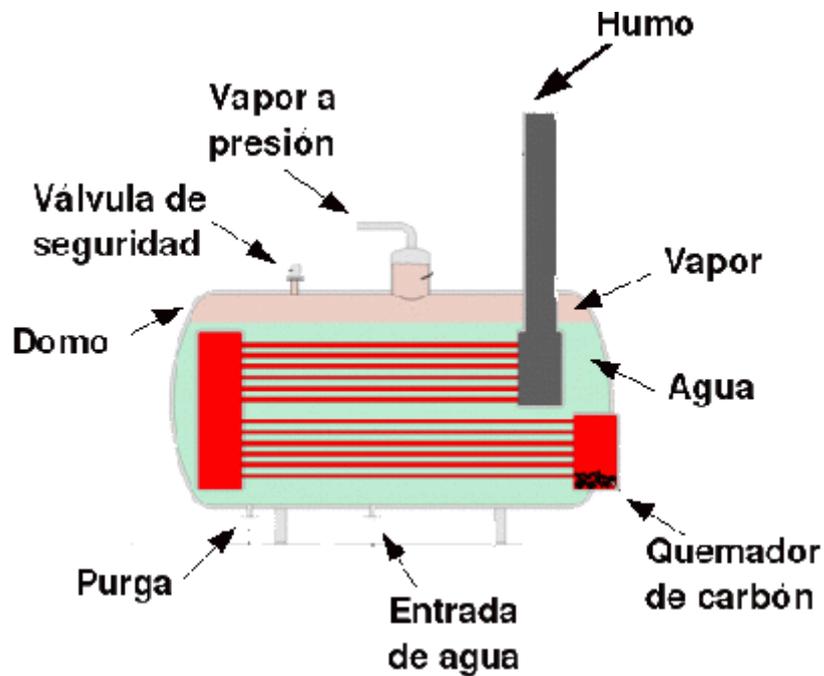
Hay muchos tipos de calderas de acuerdo a las temperaturas y presiones finales, tipo

de energía calorífica disponible y volumen de producción de vapor, cabe destacar además, que para las mismas condiciones generales, existen un gran número de diseños constructivos en cuanto al modo de intercambio de calor, la forma del quemado del [combustible](#), forma de alimentación del agua y otros muchos factores, lo que hace el tema de las calderas, objeto de grandes tomos técnicos así como de constante desarrollo.

Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Dentro de los diferentes tipos de calderas se han construido calderas para tracción, utilizadas en locomotoras para trenes tanto de carga como de pasajeros.

La caldera multi-tubular con haz de tubos amovibles, está preparada para quemar carbón o lignito, el humo, es decir los gases de combustión caliente, pasan por el interior de los tubos cediendo su calor al agua que rodea a esos tubos. Para medir la potencia de la caldera, Watt recurrió a medir la potencia promedio de muchos caballos, y obtuvo unos 33.000 libras-pie / minuto o sea 550 libras-pie/seg, valor que denominó HORSE POWER, potencia de un caballo.

Posteriormente, al transferirlo al sistema métrico de unidades, daba algo más de 76 kgm/seg., pero, la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, resolvió redondear ese valor a 75 más fácil de simplificar, llamándolo "Caballo Vapor" en homenaje a Watt.



**Figura 2.1 Esquema de una caldera simple**

En la figura 2.1 se muestra un esquema de una caldera simple, que utiliza carbón como combustible. Los gases muy calientes procedentes de un quemador de carbón, se conducen a través de múltiples tubos embebidos en el agua contenida en el cuerpo de la caldera, hasta una chimenea de salida al exterior. Estos tubos se conocen como tubos de fuego. Durante el paso por los tubos, ceden el calor al agua circundante, calentándola y haciéndola hervir, los vapores resultantes, burbujan en el resto del agua para concentrarse en el domo de donde se extraen para el proceso. Una válvula de seguridad calibrada, impide que se alcancen presiones peligrosas para la integridad de la caldera.

El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura. Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable. Por lo general, en las calderas pequeñas empleadas para la calefacción doméstica, la

presión máxima de operación es de 104000 N/m<sup>2</sup>. En el caso del agua caliente, esta es igual a 232oC (450oF). Las calderas grandes se diseñan para diferentes presiones y temperaturas, con base en la aplicación dentro del ciclo del calor para la cual se diseña la unidad.

### **2.2.1 FORMA DE OPERACIÓN DE LA CALDERA**

Las calderas, en sus vertientes de vapor y agua caliente, están ampliamente extendidas tanto para uso industrial como no industrial, encontrándose en cometidos tales como, generación de electricidad, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitaria, etc. Estos ejemplos muestran la complejidad que puede tener una caldera y que haría muy extenso la descripción de los elementos que se integran en ellas. La forma de operación de las calderas las vamos a detallar a continuación

### **2.2.2 Controles previos antes del encendido**

Antes de encender la caldera, es imprescindible efectuar las siguientes comprobaciones:

- 1- El equipo dispone del certificado de conformidad.
- 2- Llenar el tornillo sinfín del combustible adecuado.
- 3- Rellenar la instalación hidráulica hasta el nivel adecuado.

### **Encendido**

El cuadro de mandos electrónico gestiona el encendido y el funcionamiento de la caldera. (figura 2.2)



Figura 2.2 Mandos electrónicos de una caldera

**ATENCIÓN!** UNA VEZ ENCENDIDO EL INTERRUPTOR GENERAL, NO TOCAR LAS TECLAS DEL CUADRO DE MANDOS ELECTRONICO, LEER ATENTAMENTE EL MANUAL Y SEGUIR LAS INSTRUCCIONES DE ENCENDIDO CUIDADOSAMENTE

### 1- Encender el interruptor general

Del cuadro de mandos. El display señalará alternativamente OFF y la temperatura del agua de la caldera. Si no aparece esta señal, pulsar la tecla OFF durante 5 segundos hasta que aparezca la misma.

### 2- Llenar el depósito del hogar quemador

Accionar el tornillo sinfín pulsando la tecla SET y esperar que el combustible dentro del cajoncito de hierro fundido del hogar cubra el tornillo sinfín de una capa de 1-2 cm. (el tornillo sinfín funciona con la puerta cerrada). Si la cantidad de combustible dentro del

cajoncito del hogar es excesiva, se aconseja removerlo al nivel indicado hasta conseguir un encendido óptimo.

### **3- Encendido**

Una vez terminada la fase de llenado de la bandeja, pulsar durante 5 segundos la tecla ON hasta que se encienda la LED DE ENCENDIDO. Significa que ha comenzado la fase de encendido. Después de 5-10 minutos, el combustible se inflama y se puede comprobar a través de la mirilla situada en la puerta. Si el combustible no se inflama, el cuadro de mandos efectuara automáticamente un segundo intento.

### **4- Ajuste del combustible**

La cantidad correcta de aire primario y secundario depende del tipo y de la consistencia del combustible usado. La regulación idónea se obtiene después de varios ajustes necesarios. Para asegurarse de que los ajustes son correctos, comprobar el consumo del combustible que tiene que corresponder a los valores ideales.

### **5- El potenciómetro de velocidad**

Regula el flujo de combustible. Se ajusta en función de la potencia de la caldera. Solo si fuera necesario, se puede afinar los ajustes del combustible a través de potenciómetro de velocidad usando un destornillador adecuado.

### **6- Funcionamiento normal**

Después del encendido y de los ajustes, el funcionamiento de la caldera es automático.

## **7- Demanda de calor**

Durante el funcionamiento normal, el caudal de combustible y el nivel del aire de combustible se ajustan desde el termostato del agua. Una vez alcanzada la temperatura de consigna, el tornillo sinfín y el ventilador se paran. Cuando la temperatura del agua baja, el tornillo sinfín y el ventilador arrancan automáticamente y funcionan hasta alcanzar la temperatura de consigna.

## **8- Apagado**

Desactivar el interruptor general en el cuadro de mandos para apagar la caldera. Si no se va a usar la caldera durante mucho tiempo, se aconseja consumir todo el combustible contenido en el silo.

### **2.2.3 CLASIFICACION DE LAS CALDERAS**

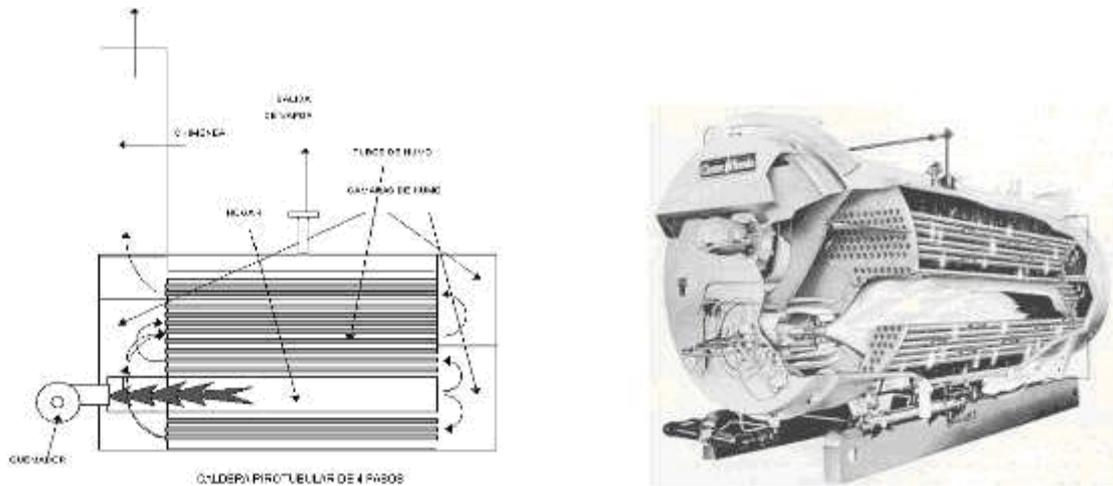
Aunque existen numerosos diseños y patentes de fabricación de calderas, cada una de las cuales puede tener características propias, las calderas se pueden clasificar en dos grandes grupos; calderas pirotubulares y acuotubulares, algunas de cuyas características se indican a continuación.

### **2.2.4 CALDERAS PIROTUBULARES**

Se denominan pirotubulares (figura 2.3) por ser los gases calientes procedentes de la combustión de un combustible, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior

esta bañado por el agua de la caldera. El combustible se quema en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular de la caldera, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección.

Según sea una o varias las veces que los gases pasan a través del haz tubular, se tienen las calderas de uno o de varios pasos. En el caso de calderas de varios pasos, en cada uno de ellos, los humos solo atraviesan un determinado número de tubos, cosa que se logra mediante las denominadas cámaras de humos. Una vez realizado el intercambio térmico, los humos son expulsados al exterior a través de la chimenea.



**Figura 2.3 Caldera pirotubular**

#### **Ventajas:**

- Menor costo inicial debido a la simplicidad de su diseño.
- Mayor flexibilidad de operación.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación.
- Son pequeñas y eficientes.

#### **Inconvenientes:**

- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.

- No son empleables para altas presiones.

### 2.2.5 CALDERAS ACUATUBULARES.

En las calderas acuatubulares (figura 2.4), al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera. Adicionalmente, pueden estar dotadas de otros elementos de intercambio de calor, como pueden ser el sobre calentador, recalentador, economizador, etc.

Estas calderas, constan de un hogar configurado por tubos de agua, tubos y refractario, o solamente refractario, en el cual se produce la combustión del combustible y constituyendo la zona de radiación de la caldera.

Desde dicho hogar, los gases calientes resultantes de la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado este por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera, finalmente, los gases son enviados a la atmósfera a través de la chimenea.

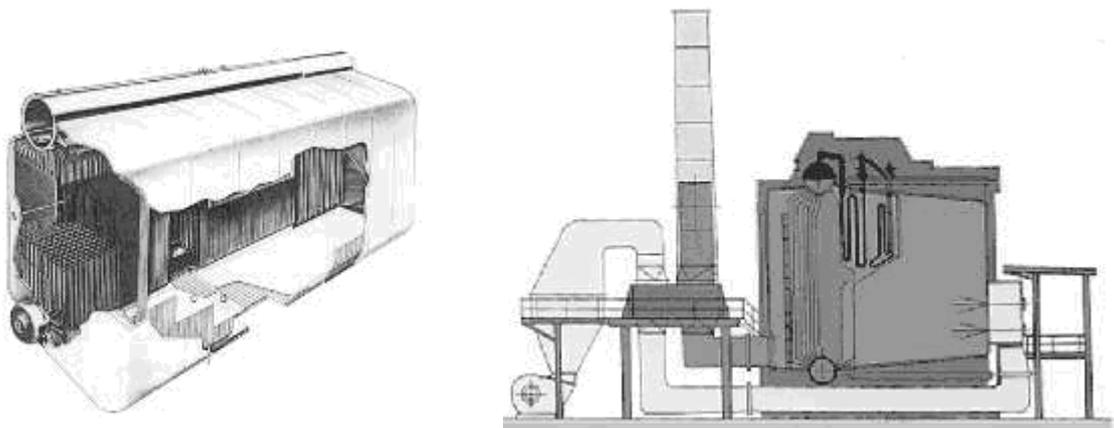


Figura 2. 4 Calderas Acuatubulares

**Ventajas:**

- Pueden ser puestas en marcha rápidamente y trabajan a 300 o más psi.

**Inconvenientes:**

- Mayor tamaño y peso, mayor costo.
- Debe ser alimentada con agua de gran pureza

**2.2.6 MANTENIMIENTO EN CALDERAS**

Desarrollar un programa de mantenimiento permite que la caldera funcione con un mínimo de paradas en producción, minimiza costos de operación y permite un seguro funcionamiento.

El mantenimiento en calderas puede ser de tres tipos:

- Correctivo
- Preventivo
- Predictivo

El mantenimiento en calderas debe ser una actividad rutinaria, muy bien controlada en el tiempo. Es por ellos que se recomiendan las siguientes actividades a corto, media y largo plazo.

**2.2.7 Mantenimiento diario**

- 1) Ciclo de funcionamiento del quemador.
- 2) Control de la bomba de alimentación.
- 3) Ubicación de todos los protectores de seguridad.
- 4) Control rígido de las purgas.

- 5) Purga diaria de columna de agua.
- 6) Procedimiento en caso de falla de suministro.
- 7) Tipo de frecuencia de lubricación de suministro de motores y rodamientos.
- 8) Limpieza de la boquilla del quemador y del electrodo de encendido
- 9) Verificación de la temperatura de agua de alimentación.
- 10) Verificación de limpieza de mallas a la entrada del aire al ventilador, filtro de aire en el compresor, filtros de combustible, área de la caldera y sus controles.
- 11) Precauciones al dejar la caldera fuera de servicio, en las noches o fines de semana.
- 12) Verificación de combustión.
- 13) Verificación de presión, producción de vapor y consumo de combustible.

### **2.2.8 Mantenimiento anual**

Se incluye el programa semestral, adicionando:

- 1) Cambio de empaques de la bomba de alimentación si es necesario.
- 2) Mantenimiento de motores en un taller especializado. Desarme total con limpieza y prueba de aislamientos y bobinas.
- 3) De acuerdo a un análisis del agua y las condiciones superficiales internas de la caldera, se determina si es necesario realizar una limpieza química de la caldera.

### **2.2.9 ANÁLISIS DE LA REGENERACIÓN DE CATALIZADORES MEDIANTE VAPOR DE AGUA SATURADA**

Los datos investigativos revelan que el envenenamiento del catalizador del convertidor catalítico alcanza niveles tan severos que anula la actividad del catalizador, este fenómeno se debe al bloqueo de los lugares activos del catalizador por los productos de combustión incompleta del combustible con la formación de elementos heterogéneos de superficie entre los componentes del catalizador y las especies químicas constitutivas del combustible no quemado, que contienen hidrocarburos tanto parafínicos como aromáticos de cuatro o más carbonos por molécula.

Se incluyen como sustancias bloqueadoras de la actividad del catalizador el anhídrido sulfuroso y los óxidos de nitrógeno que se encuentran en los gases de escape de los vehículos y la deposición de material carbonoso.

Los enlaces que unen a las moléculas de los gases contaminantes con los grupos activos de las superficies de cordierita, para formar compuestos de superficie por magnitud son de carácter químico. La energía de estos enlaces, representa la energía de adsorción química (adhesión superficial de un gas o un líquido en un sólido, producida por una reacción química) de los grupos orgánicos sobre la superficie de cordierita.

La cordierita es un silicato de aluminio y magnesio que se caracteriza por la alta polaridad de las superficies, propiedad que se manifiesta en la energía de absorción, en el caso de la absorción de moléculas orgánicas entre las que se distinguen hidrocarburos tanto parafínicos como aromáticos, la energía de absorción varía entre 500 [Ergios/cm<sup>2</sup>] y 1000 [Ergios/cm<sup>2</sup>] que por cierto son típicas de la absorción química, por lo tanto es un elemento que puede absorber agua para limpiarse.

## 2.2.10 REGENERACIÓN DEL CATALIZADOR DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO

La regeneración o limpieza del catalizador consiste fundamentalmente en la ruptura de los enlaces adsorbato - adsorbente lo cual se logra mediante la introducción en el sistema de un adsorbato (sustancia capaz de efectuar succión), que con el adsorbente (sustancia capaz de efectuar absorción) forman enlaces de mayor energía, y de esta manera se consigue el desplazamiento del adsorbato original.

Para limpiar el catalizador se debe eliminar las impurezas que bloquean los lugares activos del catalizador, las gasolinas extra y súper no contienen plomo y en consecuencia, la desactivación se debe primeramente a la contaminación causada por el carbón generado por la combustión deficiente de la gasolina.

El carbón, residuo del proceso de combustión, es una sustancia apolar con la energía de absorción física igual o menor a 30 [KJ/mol] sobre las superficies del catalizador que son altamente polares. Para remover el material carbonoso que bloquea los lugares activos se debe poner en contacto a las superficies del catalizador con una sustancia polar que al adherirse a la superficie del catalizador mediante adsorción química desplace al material carbonoso de la superficie del catalizador.

El agua por ser un líquido altamente polar se adsorbe sobre las superficies de sólidos polares formando enlaces químicos de mayor energía que la de todos los hidrocarburos que son apolares (tienen bajísima polaridad).

La energía de absorción del agua (vapor) sobre la superficie de los silicatos oscila alrededor de 1000 [Ergios/cm<sup>2</sup>] dato que es típico de la absorción química.

En cambio la energía de absorción de hidrocarburos sobre las superficies de los silicatos oscila alrededor de 350 [Ergios/cm<sup>2</sup>]. Precisamente por ser la magnitud de la entalpía de absorción del agua (vapor) sobre la superficie del silicato mayor que la

absorción de hidrocarburos sobre las superficies de los silicatos, es que el agua vapor desplaza de las superficies del silicato a las moléculas de los hidrocarburos dejando a los grupos activos del catalizador libres para catalizar la destrucción de los residuos de hidrocarburos que no han sido combustionados.

Razones por las que el procedimiento adoptado para limpiar el catalizador del convertidor catalítico es el de hacer pasar a través del convertidor catalítico vapor de agua saturado a presión y temperatura, que por las propiedades físicas que quedan explicadas desplazan el material carbonoso de la superficie del catalizador sin alterar las características fisicoquímicas del mismo. Las moléculas de agua así adsorbidas se desprenden en cuanto pasan a través del convertidor catalítico los gases de escape del vehículo. El resultado neto de este procedimiento la regeneración los catalizadores de los convertidores.

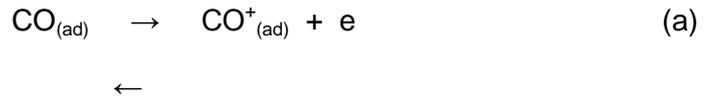
### **2.3.11 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UN CATALIZADOR**

Un catalizador debe satisfacer las siguientes características:

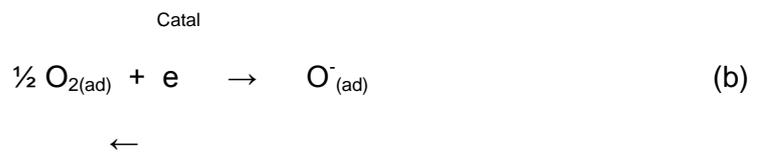
- a)** Alta actividad catalítica
- b)** Alta selectividad
- c)** Debe ser física y químicamente estable y
- d)** Debe resistir los efectos del envenenamiento.

Para que se forme el anhídrido carbónico a partir del monóxido de carbono y oxígeno con el aporte del catalizador, el mecanismo de reacción de acuerdo con la teoría fisicoquímica se explica a continuación:

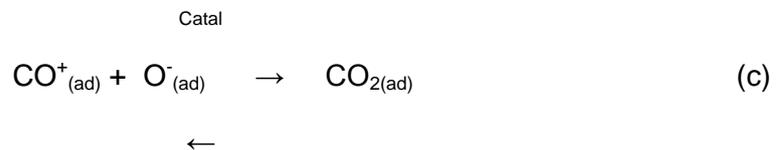
El monóxido de carbono que es uno de los productos de la combustión incompleta, se adsorbe químicamente sobre las superficies del catalizador originando la siguiente reacción:



Al mismo tiempo, el oxígeno molecular es adsorbido como un receptor de electrones sobre la superficie saturada de monóxido de carbono que genera  $\approx 400$  [KJ/mol] de energía. Al fin, se disocia originando la formación de aniones (iones cargados negativamente) tal como sigue:



El oxígeno atómico con carga negativa reacciona con el catión (ion cargado positivamente)  $\text{CO}^+_{(ad)}$  para formar el anhídrido carbónico (c):



El anhídrido carbónico así formado se desprende de las superficies del catalizador para escaparse hacia el medio ambiente.

Cabe anotar que la absorción es un fenómeno exotérmico al que se suma las contribuciones de las energías de conversión (a) y de atomización (b) que por ser endotérmica resta energía al proceso.

La pérdida total de energía a causa del proceso exotérmico se aproxima a 300 [KJ/mol] que explica porque la temperatura de salida de gases de escape que pasa a través del convertidor es más alta que la temperatura de entrada al convertidor de los gases de combustión de la gasolina.

La descomposición catalítica de los hidrocarburos parafínicos se efectúa a temperatura (T) mayor a 400 grados centígrados mediante la formación y generación del ión carbono que puede perder un protón y transformarse en un hidrocarburo estable o conducir a un mayor número de rupturas en los hidrocarburos.

El mecanismo de descomposición catalítica de los hidrocarburos parafínicos difiere fundamentalmente del que rige la degradación de los hidrocarburos aromáticos.

La eficiencia del proceso catalítico depende de las características del catalizador. En general, se logra la degradación de los hidrocarburos aromáticos mediante el uso de catalizadores que consisten de óxidos del tipo n que son los óxidos que a temperatura (T) mayor o igual a 400 grados centígrados pierden oxígeno originando una deficiencia de cargas negativas que se caracterizan porque la actividad catalítica es óptima dentro del intervalo de temperatura de 500 grados centígrados. En cambio, los óxidos del tipo p son deficientes en la concentración estequiométrica de cationes, razón por la cual actúan como transportadoras de cargas positivas.

Estos óxidos catalizadores alcanzan óptima actividad en el intervalo de temperatura de 250 a 500 grados centígrados.

## CAPITULO III

### APLICACIÓN DEL SISTEMA DE LIMPIEZA DE CATALIZADORES POR MEDIO DE VAPOR DE AGUA SATURADA.

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la ESPE-L, el vehículo que se utilizó en la práctica pertenece a la misma, además consta de las siguientes características que se muestran en la Tabla III.1

**Tabla III.1 Características del Vehículo Vitara 3P**

<b>Vehículo</b>	<b>Características</b>
Marca	Chevrolet
Modelo	Vitara 3 P
Año	2007
Motor	4 en Línea
Cilindrada	1600 cc
Tipo de inyección	Semi Secuencial
Kilometraje	400 Km.

Los catalizadores de prueba utilizados en esta investigación provienen de los siguientes vehículos, Tabla III.2.

**Tabla III.1 Características de los catalizadores a utilizar**

<b>Auto</b>	<b>Modelo</b>	<b>Año</b>	<b>Propietario</b>
1	Volkswagen Golf 1800 cm <sup>3</sup>	1997	Persona Particular
2	Ford 2200 cm <sup>3</sup>	1998	Persona Particular
3	Mazda 2200 cm <sup>3</sup>	2000	Persona Particular
4	Volkswagen Gol 1600 cm <sup>3</sup>	2001	Persona Particular
5	Chevrolet Corsa 1600 cm <sup>3</sup>	2003	Persona Particular
6	Chevrolet Vitara 1600 cm <sup>3</sup>	2008	ESPEL

A estos catalizadores se los va a soldar bridas y acoples de tubos a la medida del catalizador del vehículo de prueba, con la finalidad de instalarlos y que estos catalizadores funcionen en el vehículo para realizar las medición de los niveles de gases contaminantes y además la regeneración de los catalizadores.

Para la aplicación del método de limpieza de catalizadores tomaremos en cuenta:

1. Construcción de bridas.
2. Parámetros para la regeneración de los catalizadores
3. La operación y funcionamiento del caldero
4. Comportamiento de los parámetros para la limpieza de catalizadores.

A continuación detallamos cada uno de estos parámetros.

### **3.1 PARÁMETROS DE LA CONSTRUCCIÓN DE BRIDAS Y ACOPLES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS CATALIZADORES EN LA CALDERA.**

Los principales parámetros que se tomaron en cuenta para la construcción de bridas y acoples se establecieron de acuerdo a las dimensiones del catalizador y tubo de escape del vehículo Chevrolet Vitara 3P de propiedad de la ESPE-L. A continuación se detallan los pasos que se tomaron para la construcción de bridas y acoples.

1.- Utilizar implementos de seguridad como son: mandil, zapatos de trabajo, gafas de seguridad y guantes, evitar el uso de anillos, cadenas y pulseras.

2.- Desmontar el catalizador del vehículo (figura 3.1), aflojando los pernos y soportes de caucho que sostienen el catalizador al tubo de escape.



**Figura 3.1 Catalizador vehículo Chevrolet Vitara 3P**

3.- Tomar las medidas necesarias como son:

- Longitud total del catalizador y tubo de escape: 960 mm

- Diámetro interior de la brida (Adelante): 70 mm
- Diámetro interior de la brida (Atrás): 45 mm
- Diámetro exterior de la brida (Adelante): 100 mm
- Diámetro exterior de la brida (Atrás): 75 mm
- Diámetros de los pernos: 12 mm

4.- Elaborar moldes con las medidas tomadas anteriormente y trazar la forma de las bridas (figura 3.2) sobre láminas de acero al carbono de 3 mm de espesor.



**Figura 3.2 Trazado de las bridas**

5.- Cortar las láminas de acero al carbono en sus medidas exteriores, utilizando una cizalla hidráulica (figura 3.3)



**Figura 3.3 Corte de las láminas de acero**

6.- Calibrar la máquina de corte por plasma a 70 amperios de intensidad de corriente y 60 PSI de presión de aire para realizar el corte de los diámetros interiores y exteriores de la brida (figura 3.4)



**Figura 3.4 Corte de diámetros interiores y exteriores**

7.- Esmerilar las bridas hasta llegar a las medidas establecidas, comprobar su acabado colocando en el tubo de escape original

8.- Soldar las bridas en los catalizadores de prueba con la ayuda de la máquina soldadora MIG-MAG (figura 3.5). Utilizar las siguientes variables de calibración:

- Tipo de electrodo continuo: ER 70 S-6
- Diámetro del alambre: 0.8 mm
- Voltaje: 24 Voltios
- Flujo de gas: 12 lt/min
- Velocidad de alimentación de alambre: 990 cm/min



**Figura 3.5 Catalizadores de prueba con las bridas soldadas**

9.- Colocar los catalizadores de prueba en el vehículo Vitara (figura 3.6) siguiendo el proceso inverso del paso 2, para la realización de la prueba de la toma de gases antes de la limpieza de los mismos. Repetir este proceso para los 5 catalizadores de prueba escogidos anteriormente.



**Figura 3.6 Colocación del catalizador de prueba en el vehículo**

7.-Una vez colocados los catalizadores de prueba en el vehículo procedemos a la toma de los gases de escape con la ayuda del Analizador de gases de escape marca RAG GasCheck de propiedad de la ESPE-L que a continuación describe en el Capítulo 4 sección 4.2.2.

### **3.2. PARÁMETROS PARA LA REGENERACIÓN DE CATALIZADORES UTILIZANDO VAPOR DE AGUA SATURADA.**

El anexo 1 contiene el informe de la experimentación de laboratorio realizada para encontrar los parámetros necesarios para efectuar la limpieza de los catalizadores de los convertidores catalíticos. El caldero que se eligió para la regeneración de los catalizadores es del tipo Piro-tubular ya que soporta presiones de 200 Psi de trabajo, considerando que según la experimentación de laboratorio realizada se necesita de una presión de 90.6 Psi para una regeneración eficiente en los catalizadores, además este tipo de caldero posee una mayor facilidad de operación.

Para regenerar la actividad catalítica de los catalizadores de automotores a gasolina es necesario que se incluya:

1. Un generador de vapor de agua saturado cuya operación normal entregue los parámetros que se indican en la tabla III.3.

**Tabla III.3 Parámetros para la regeneración de catalizadores utilizando vapor**

Flujo másico de vapor [Kg/s]	0.005
Presión [Psi]	90.600
Temperatura de saturación [°F]	320.772

2. Sistema de conexión del convertidor catalítico al generador de vapor (caldera).
3. Estructura que permita el montaje conjunto del generador de vapor y el sistema de conexión, así como también, soporte del peso de los elementos; albergar la bancada; y facilitar la operación, mantenimiento y desplazamiento de la máquina.

### **3.3 OPERACIÓN FUNCIONAMIENTO Y MONTAJE DE LOS CATALIZADORES EN CALDERA PARA EL PROCESO DE REGENERACION EN LOS CATALIZADORES.**

La operación de la máquina de limpieza de catalizadores de automotores a gasolina, asegura una máxima eficiencia de la misma. Para la operación de la máquina se deberá seguir el procedimiento que se define a continuación.

Para la seguridad del operador de la máquina, se recomienda el uso de vestimenta adecuada, con la respectiva protección frontal de cuero, además de guantes

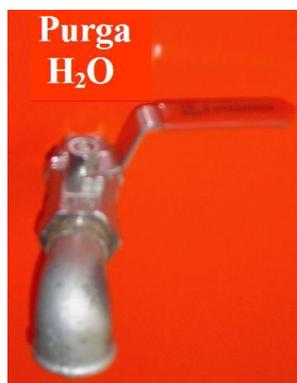
resistentes al calentamiento, así como también de gafas transparentes para la protección ocular.

1. Efectúese al vehículo el diagnóstico de la degeneración del catalizador del convertidor catalítico mediante la medición de emisión de gases de escape, logrando determinar así el grado de envenenamiento de su catalizador.
2. Verifique que la salida del caldero de vapor se encuentre libre para la instalación de los catalizadores, como se muestra en la figura 3.7



**Figura 3.7 Caldero de Vapor con la bancada libre**

3. Verifique que la válvula de purga de agua, este completamente cerrada como se muestra en la figura 3.8



**Figura 3.8 Válvula de purga de agua del caldero**

4. Verifique que la válvulas: de salida de vapor, del medidor de nivel, estén completamente abiertas; ver la figura 3.9



**Figura 3.9 Panel de control de la caldera**

5. Conecte el un extremo de la manguera de alimentación de agua, a la válvula de la red de distribución de agua potable, como se representa en la figura 3.10



**Figura 3.10 Conexión de la manguera de alimentación de agua potable**

6. Conecte el acople rápido de la manguera, a la válvula de entrada de agua, verificando que la misma este cerrada, como se muestra en la figura 3.11



**Figura 3.11 Conexión de la manguera de alimentación a la caldera**

7. Abra completamente la válvula de la red de alimentación de agua potable.
8. Abra completamente la válvula de entrada de agua, para permitir el ingreso de agua al caldero
9. Cierre completamente la válvula, cuando el agua alcance el nivel de operación normal, 50 lts en el tubo de vidrio, como muestra la figura 3.12



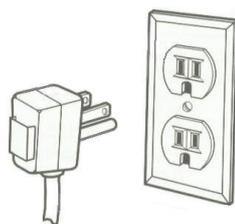
**Figura 3.12 Nivel de agua de operación normal de la caldera**

10. Cierre completamente la válvula de salida de vapor.

### **ADVERTENCIA**

Por simple inspección Identifique si no existen fugas de combustible.

11. Conecte el cable de alimentación de corriente, al tomacorriente (110 VAC) más cercano, como se representa en la figura 3.13.



**Figura 3.13 Conexión del cable de alimentación**

- 12.** Verifique que la lectura de combustible que se encuentre en el nivel completo para la utilización del caldero.
  
- 13.** Abra la válvula de apertura-cierre de flujo de combustible, hasta la posición de encendido
  
- 14.** Enseguida oprima el pulsador, durante cinco minutos, para encender el caldero.
- 15.** Una vez comprobado el encendido del caldero, gire la válvula de apertura de combustible, hasta la posición de operación normal
  
- 16.** Gire la válvula reguladora de entrada de aire, hasta la posición de operación normal (marca color azul).
  
- 17.** Monte la salida en el convertidor catalítico utilizando los acoples , como se muestra en la figura 3.14



**Figura 3.14 Montaje de la bancada y el convertidor catalítico**

- 18.** Espere a que la lectura de presión de operación del caldero se estabilice en 90 [Psi] como mínimo, en el manómetro de la caldera.
- 19.** Encerar el cronómetro, e iniciar el cronometraje del tiempo.
- 20.** Enseguida abra la válvula de salida de vapor, periódicamente según las marcas; durante 30 minutos, con periodos de seis minutos; y finalice el cronometraje del tiempo, según como indica la figura 3.15



**Figura 3.15 Apertura de la válvula para el flujo de vapor**

- 21.** Efectuando el numeral anterior, cierre la válvula de salida de vapor.

22. Esperar los 30 minutos en los cuales se regenera el catalizador ver la figura 3.16



Figura 3.16 Catalizador regenerándose

23. Finalmente desmonte el convertidor catalítico figura 3.17



Figura 3.17 Desmontaje del catalizador

24. Una vez desmontado el catalizador seguimos nuevamente los pasos 2 hasta el 24 para los cinco catalizadores de prueba restantes.

### **3.4 COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES AL INICIO Y FINAL DEL PROCESO DE REGENERACIÓN DE LOS CATALIZADORES EN EL CALDERO.**

Para dar inicio a la regeneración de los catalizadores fue necesaria la medición de los principales parámetros como temperatura, flujo másico y presión que presentaron variaciones conforme a los diferentes estados de regeneración.

La Tabla III.4 detalla los valores de estos parámetros al inicio de la regeneración.

**Tabla III.4 Parámetros de regeneración al inicio del proceso**

Flujo másico de vapor [Kg/s]	0.005
Presión [Psi]	90.600
Temperatura de saturación [°F]	320.772

En la mitad del proceso de regeneración los parámetros principales variaron de la siguiente manera (Tabla III.5).

**Tabla III.5 Parámetros de regeneración a la mitad del proceso**

Flujo másico de vapor [Kg/s]	0.006
Presión [Psi]	88.600
Temperatura de saturación [°F]	315.772

Al final del proceso de regeneración los parámetros principales variaron de la siguiente manera (Tabla III.6).

**Tabla III.6 Parámetros de regeneración al final del proceso**

Flujo másico de vapor [Kg/s]	0.007
Presión [Psi]	86.600

Temperatura de saturación [°F]	310.772
--------------------------------	---------

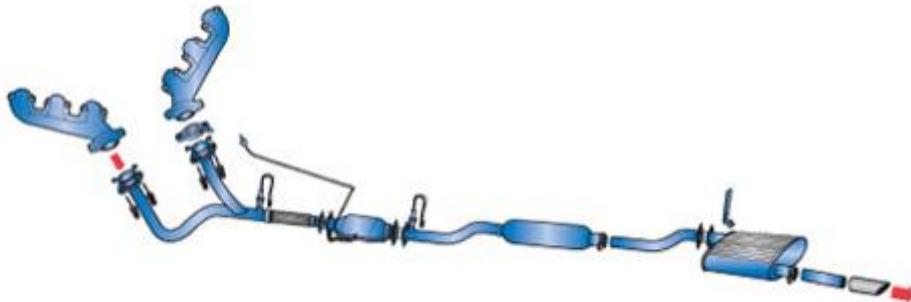
La presión disminuye de 90,6 PSI a 86,6 PSI, la temperatura se reduce de de 320,7 °F a 310, 7 °F conforme el catalizador se va limpiando hasta llegar a su regeneración total, en cambio flujo másico de vapor se incrementa de 0,005 Kg/s hasta llegar a un valor de 0.007 Kg/s al final de la prueba.

## CAPITULO IV

### PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ESCAPE

El sistema de escape convencional (figura 4.1) tiene como función principal evacuar los residuos producto de la combustión desde las cabezas de los cilindros de un motor de combustión interna hacia la atmósfera, en cuyo trayecto son analizados por sensores de oxígeno, para luego ser refinados en el convertidor catalítico y finalmente ser amortiguados por el silenciador.



**Figura 4.1 Sistema de escape convencional**

El escape es mucho más que un simple ducto de salida de gases, entre otras cosas es un factor determinante de potencia del motor así como colaborador de diferentes sistemas de protección ambiental por contaminación sónica y de gases contaminantes.

Algunos vehículos poseen sistemas EGR (Recirculación de Gases de Escape por sus siglas DPFE en inglés). La válvula EGR (figura 4.2), regula la cantidad de gases de

escape que entran al múltiple de admisión. La recirculación del gas de escape reduce la formación de NOX; La cantidad de gas de escape en el múltiple; es solamente cerca de 6 a el 10% del total, pero es bastante; para diluir la mezcla aire/combustible apenas suficiente, para tener efecto, y bajar las altas temperaturas de la combustión.



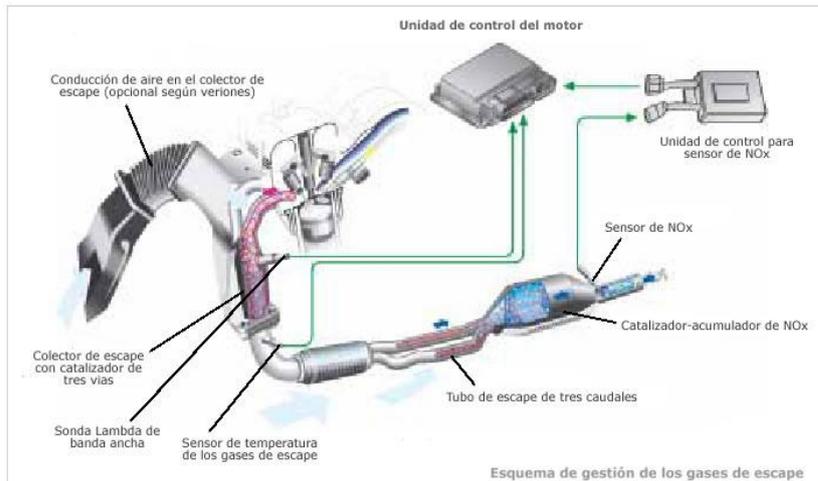
**Figura 4.2 Válvula EGR**

Esto mantiene las temperaturas debajo de 2500 grados F. que es el límite, en el cual el nitrógeno reacciona con oxígeno para formar NOx. La eficiencia en la salida de los gases es un factor determinante de la potencia, muchas personas modifican diferentes segmentos del escape en búsqueda de efectividad al respecto, sin embargo, estas modificaciones pueden afectar el buen funcionamiento de algunos sistemas.

El caudal de los gases de escape varía de acuerdo a su resistencia al flujo, la cual se modifica por diferentes elementos tales como diámetro del tubo, forma del componente, curvas, largo del ducto, tipo de silenciador, resonador, etc.

El silenciador cumple con el objetivo de evitar la alta propagación sónica de acuerdo con estándares internacionales, es evidente la aparición de nuevos modelos de corte “estético-deportivo” conocidos como “muffler” (silenciador en inglés) que modifican la propagación y los decibeles producidos por el motor para generar efectos de vehículo deportivo o de carreras,

Hasta ahora era un gran problema el tratamiento de los gases de escape en motores con inyección directa de gasolina. Esto se debe a que con un catalizador convencional de tres vías no se pueden alcanzar los límites legales de emisiones de óxidos nítricos en los modos estratificado, pobre y homogéneo-pobre, por ello se incorpora para estos motores un catalizador-acumulador de NOx, que almacena los óxidos nítricos (NOx) en estos modos operativos. Al estar lleno el acumulador se pone en vigor un modo de regeneración, con el cual se desprenden los óxidos nítricos del catalizador-acumulador y se transforman en nitrógeno (figura 4.3).



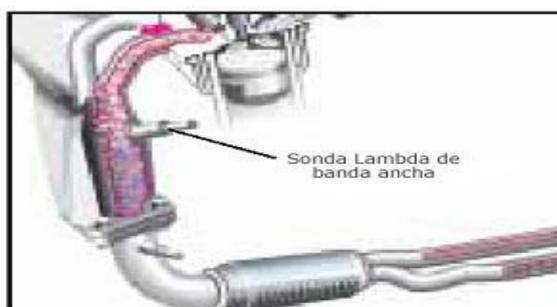
**Figura 4.3 Sistema de escape con inyección electrónica**

#### 4.1.2 Refrigeración de los gases de escape.

El objetivo consiste en refrigerar los gases de escape al grado que la temperatura en el catalizador-acumulador de NOx se mantenga lo más frecuente y prolongadamente posible dentro del margen comprendido entre los 250 °C y 500 °C, puesto que sólo en este margen de temperaturas el catalizador-acumulador está en condiciones de almacenar los óxidos nítricos. Otro motivo es el descenso permanente de la capacidad de acumulación si se calentó el catalizador-acumulador de NOx a más de 850 °C.

#### 4.1.3 Sonda lambda de banda ancha.

La sonda lambda (figura 4.4) de banda ancha va atornillada ante el catalizador en el colector de escape. Se utiliza para determinar el contenido de oxígeno residual en los gases de escape.



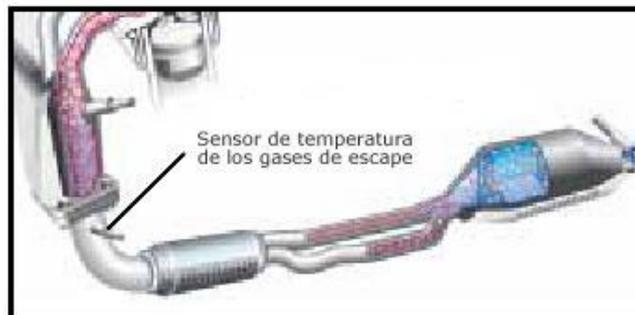
**Figura 4.4 Sonda Lambda**

### **Aplicaciones de la señal.**

Con la sonda lambda de banda ancha es posible determinar con exactitud la relación de combustible y aire, también cuando difiere de  $\lambda = 1$ , en el modo homogéneo-pobre permite establecer de esa forma un  $\lambda$  empobrecido de 1,55. En el modo estratificado se procede a determinar por cálculo el valor  $\lambda$ , porque las sondas lambda de banda ancha son demasiado inexactas en este sector. Con ayuda de la señal, la unidad de control del motor calcula el valor  $\lambda$  efectivo e inicia la regulación al diferir con respecto al valor  $\lambda$  teórico. La regulación se lleva a cabo a través de la cantidad inyectada.

### **Sensor de temperatura de los gases de escape**

El sensor de temperatura (figura 4.5) de los gases de escape va atornillado en el tubo de escape detrás del pre catalizador. Mide la temperatura de los gases de escape y transmite esta información a la unidad de control del motor.



**Figura 4.5 Sensor de Temperatura**

### **Aplicaciones de la señal**

Con ayuda de la señal procedente del sensor de temperatura de los gases de escape, la unidad de control del motor calcula, entre otras cosas, la temperatura en el catalizador-acumulador de NOx.

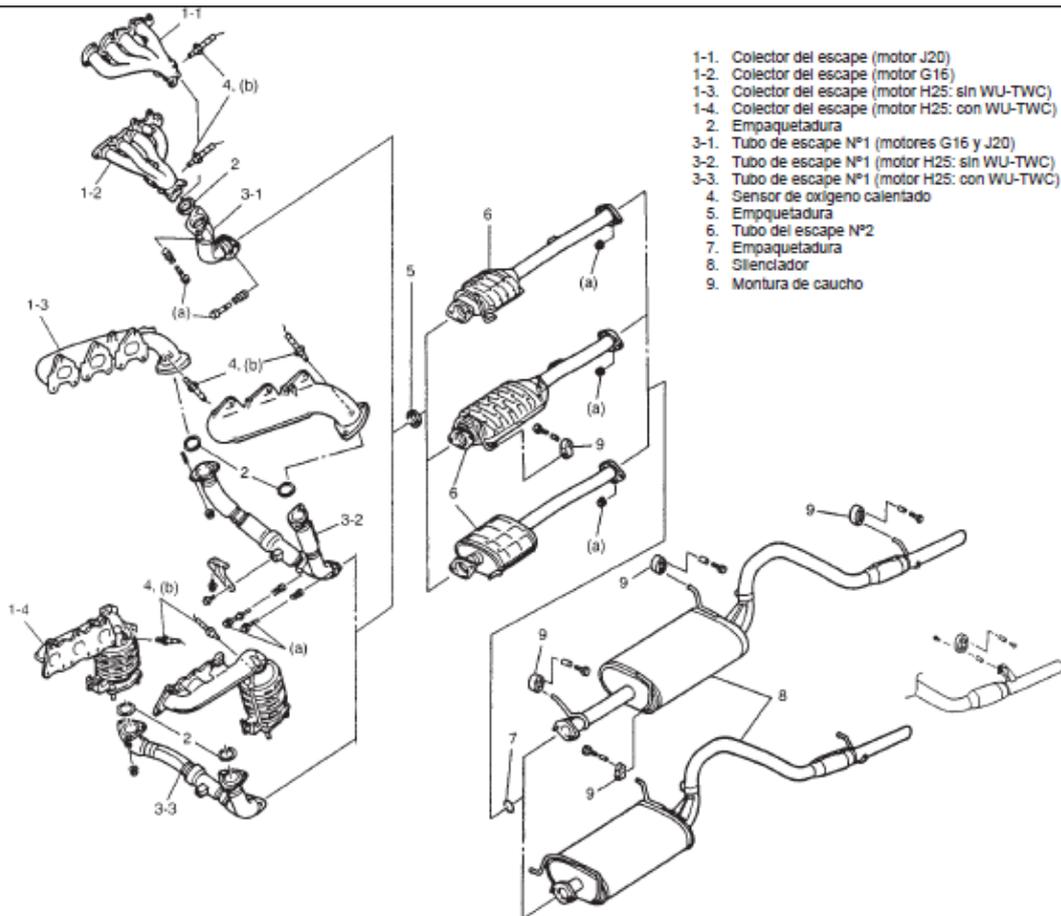
Esto resulta necesario por los motivos siguientes:

- El catalizador-acumulador de NOx sólo puede almacenar óxidos nítricos a una temperatura operativa entre los 250 °C y 500 °C. Por ello, sólo en este margen de temperaturas se puede pasar a los modos estratificado y homogéneo-pobre.
- El azufre se almacena interinamente en el catalizador-acumulador de NOx. Para desprender nuevamente el azufre en los puntos de retención es preciso que la temperatura en el catalizador-acumulador sea de 650 °C como mínimo.

En el sensor se encuentra una resistencia de medición con coeficiente negativo de temperatura (NTC). Eso significa, que a medida que aumenta la temperatura se reduce su resistencia y la tensión de la señal aumenta. Esta tensión de la señal está asignada a una temperatura específica en la unidad de control del motor.

#### **4.1.4 Sistema de Escape del Vehículo VITARA 3P**

El sistema de escape del vehículo (figura 4.6) se compone de un colector de escape, tubo de escape 1, tubo de escape 2, silenciador, sensor de oxígeno, empaquetadura, etc. El convertidor catalítico de tres vías permite el control de emisiones instalado en el sistema de escape para reducir los niveles de contaminación, de Hidrocarburos (HC), Anhídrido Carbónico (CO) y Óxidos de Nitrógeno (NOx) en los gases de escape.



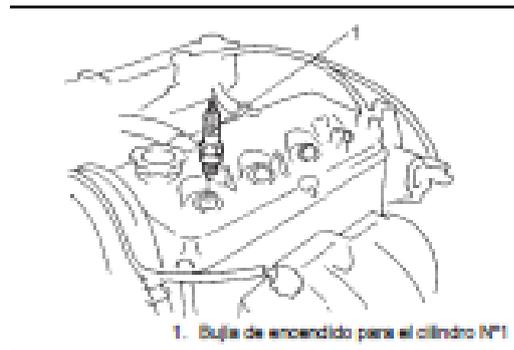
**Figura 4.6 Sistema de escape del motor VITARA**

## 4.2 PUESTA A PUNTO DEL AUTOMOTOR

Considerando que el motor debe estar en un correcto funcionamiento se deben realizar algunas operaciones como son la calibración de las bujías y sincronización del encendido.

### Calibración de bujías

1. Retirar el cable alta tensión sujetado por su tapa
2. Desmontar el conjunto de bobina de encendido.
3. Desmontar las bujías de encendido



**Figura 4.7 Desmontaje de las bujías**

### **Inspección**

Inspeccionamos en busca de anomalías como desgaste del electrodo, presencia de carbón y daño de aislación. Una vez acabado la inspección concluimos que las bujías se encuentran en buen estado de funcionamiento por lo que procedemos a la limpieza de las mismas y su calibración, con la ayuda de un calibrador de láminas.

### **Calibración**

Tipo de bujía NJK BKRGE – 11/IFRGE11

Entre hierro de las bujías de encendido “a” 1.0 – 1.1 mm

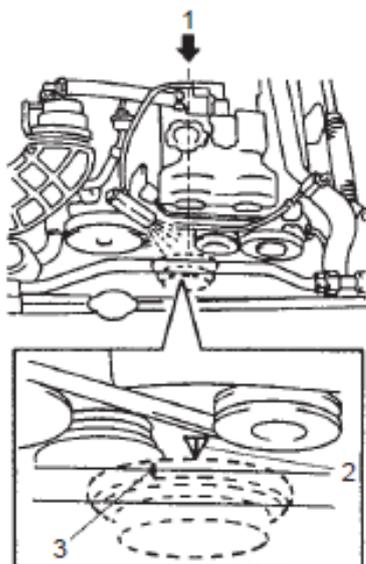


**Figura 4.8 calibración de las bujías**

Una vez calibrada las bujías procedemos al montaje de las mismas con el proceso inverso al utilizado en el desmontaje.

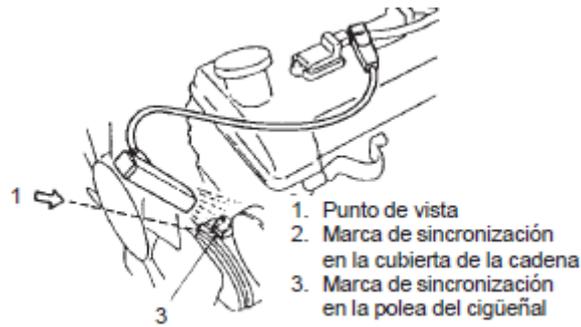
## Inspección y ajuste de la sincronización de encendido del vehículo

1. Antes de poner en marcha el motor mueva la palanca de cambios a la opción de neutro.
2. Ponga en marcha el motor y caliente a su temperatura de funcionamiento normal.
3. Compruebe que todas las cargas eléctricas excepto el encendido estén desconectadas. Verifique el punto fijo y móvil del la polea del cigüeñal como indica la figura 4.9



**Figura 4.9 Marca fija y móvil de la polea del cigüeñal**

4. Instale la luz de prueba de reglaje en el cableado de encendido para el cilindro N°1 como se muestra en la figura 4.10



**Figura 4. 10 Conexión de la luz de prueba**

5. Utilice la luz de prueba de reglaje para confirmar que la sincronización en el punto de vista esta dentro de las especificaciones.

Punto de vista de la sincronización de encendido inicial.

Orden de encendido 1-3-4-2.

Con el motor en ralentí (mariposa de gases cerrada y vehículo parado) confirme que la sincronización de encendido este en unos BTDC 12°, confirme también que al aumentar la velocidad del motor avanza la sincronización del encendido.

Después de haber realizado la sincronización del encendido se determinó que el vehículo se encuentra dentro de las especificaciones del fabricante.

#### **4.2.1 MEDICIÓN DE PRESIÓN DE VACÍO**

El vacio del motor que se crea en la tubería de admisión es un buen indicador del estado del motor. El procedimiento de inspección del vacio es el siguiente.

1. Caliente el motor a la temperatura de funcionamiento normal y compruebe que el régimen de ralentí esta de acuerdo a 700- 800 RPM.
2. Pare el motor y desconecte las mangueras de vacio de la válvula del regulador de presión del combustible o toma de admisión a la válvula de purga del recipiente de EVAP.
3. Conecte la herramienta especial (Medidor de Vacio o Vacuómetro y junta de manguera) y la junta triple entre manguera y la válvula de vacio.
4. Haga funcionar el motor a velocidad de ralentí y mida con el calibre de vacio.

**El vacio obtenido es:**

Lectura 16 in Hg con el ralentí de 750 RPM.

5. Después de inspeccionar, desmonte el medidor del vacio y la junta de manguera.
6. Vuelva al la conexión de las mangueras siguiendo el orden inverso del desarmado.

#### **4.2.2 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE ESCAPE SEGÚN LA NORMA INEN NTE 2203:99**

La norma INEN NTE 2203:99 se encuentra en estrecha relación con la norma INEN NTE 2204:99. La primera establece el método para la determinación de la composición de los gases de escape, mientras que en la segunda se exponen los límites y que gases componen las emanaciones de los tubos de escape, así como también los porcentajes permitidos para los automotores a gasolina.

A continuación se presenta una síntesis de las normas para una mejor comprensión:

### **Norma INEN NTE 2203:99**

El objetivo de esta norma es establecer el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la INEN NTE 2204:99, y las que a continuación se especifican:

#### **a) Aislamiento electromagnético**

Característica del equipo de medición que impide la alteración en sus lecturas, por causa de radiaciones electromagnéticas externas.

#### **b) Calibración de un equipo de medición**

Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.

#### **c) Gas patrón**

Gas o mezcla de gases de concentración conocida, certificada por el fabricante del mismo, y que se emplea para la calibración de equipos de medición de emisiones de escape.

#### **d) Auto calibración**

Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante del mismo.

**e) Exactitud y sonda de prueba**

Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurado. Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.

**Disposiciones Generales**

Los importadores y distribuidores de equipos de medición de emisiones deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los equipos de medición a ser utilizados debe cumplir con recomendación internacional OIML R 99.

La máquina destinada para medir los gases de escape, debe tener las características que se indican en la tabla IV.1.

**Tabla IV.1 Características principales del Equipo**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>
------------------	----------------------

Características Generales	Capacidad de medición y reporte automáticos de la concentración en volumen de CO, CO <sub>2</sub> , HC <sub>S</sub> y O <sub>2</sub> , en los gases emitidos por el tubo de escape de vehículos equipados con motores ciclo Otto de 4 tiempos alimentados por gasolina. Cumplirán con lo indicado en la recomendación internacional OIML y la NTE INEN 2203 lo que será demostrado mediante certificación del fabricante.
Características Generales	Capacidad de medición y reporte automáticos de la concentración en volumen de CO, CO <sub>2</sub> , HC <sub>S</sub> y O <sub>2</sub> , en los gases emitidos por el tubo de escape de vehículos equipados con motores ciclo Otto de 4 tiempos alimentados por gasolina. Cumplirán con lo indicado en la recomendación internacional OIML y la NTE INEN 2203 lo que será demostrado mediante certificación del fabricante.

**Tabla IV.2 Características principales del Equipo (continuación)**

PARÁMETRO	REQUERIMIENTO	
Especificación Adicional	<p>Capacidad de medición y reporte automáticos de la velocidad de giro del motor en RPM, factor lambda y temperatura de aceite.</p> <p>La captación de RPM no tendrá limitaciones respecto del sistema de encendido del motor, sea este convencional (ruptor y condensador), electrónico, DIS, EDIS, bobina independiente, descarga capacitiva.</p>	
	Variable	Rango de Medición

Rangos de Medición	Monóxido de carbono (CO)	0-10 %
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0-16 %
	Oxígeno (O <sub>2</sub> )	0-21 %
	Hidrocarburos no combustionados	0-5000 ppm
	Velocidad de giro del motor	0-10 000 rpm
	Temperatura de aceite	0-150 °C
	Factor Lambda	0-2
Condiciones Ambientales de Funcionamiento	Temperatura	5-40 °C
	Humedad relativa	0-90 %
	Altitud	Hasta 3000 msnm
	Presión	500-760 mm Hg
Ajuste	Automático, mediante una muestra certificada de gases	
Sistema de toma de muestra	La toma de muestra se realizara mediante una sonda flexible a ser insertada en la parte final del tubo de escape.	

Fuente: Norma INEN NTE 2203:99

## Determinación de los gases de escape según la Norma INEN NTE 2204:99

### a) Prueba estática

Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo a temperatura normal de operación, en marcha mínima (ralentí), sin carga, en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas).

## **b) Prueba dinámica**

Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando los ciclos de prueba descritos en la presente norma.

## **Disposiciones generales**

Los importadores y ensambladores de vehículos nuevos deben obtener la certificación de emisiones expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del vehículo y avalada por la autoridad competente del país de origen, o de un laboratorio autorizado por ella

Los importadores y ensambladores están obligados a suministrar copia de la certificación de emisiones a quienes adquieran los vehículos. La autoridad competente podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y ensambladores sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para la medición de las emisiones de escape, en condición de marcha mínima o ralentí.

La tabla IV.3, muestra los límites máximos permitidos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina, según la prueba estática de la Norma INEN NTE 2204:99, que se realiza con el vehículo a temperatura normal de operación y en marcha mínima.

**Tabla IV.3 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina (prueba estática)**

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 – 1500**	1500 - 3000 **	0 - 1500**	1500 - 3000**
2000 y posteriores	1,0	1	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200
* Volumen				
** Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm)				

**Fuente: Norma INEN NTE 2204:99**

Toda fuente móvil de gasolina que se importe o que se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono ( CO ), hidrocarburos ( HC ), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), emisiones evaporativas. Los límites permitidos son establecidos basándose en normas y códigos internacionales como los de la EPA (Código Americano), EURO II (Norma Europea), ICOTEC 4230 (Norma Colombiana).

Las tablas IV.4 y IV.5, muestran los límites máximos permitidos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina, según la prueba dinámica de la Norma INEN NTE 2204:99, que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando ciclos de prueba descritos en esta norma.

**Tabla IV.4 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)**

Categoría	Peso Bruto del Vehículo Kg	Peso del Vehículo Cargado Kg	CO g/Km	HC g/Km	NO <sub>x</sub> g/Km	Ciclos de Prueba	Evaporativas g/ensayo SHED
Vehículos Livianos			2,1	0,25	0,62	FTP-75	2
Vehículos Medianos	≤ 3860	≤ 1700	6,2	0,5	0,75		2
		1700 – 3800	6,2	0,5	1,1		2
Vehículos Pesados**	> 3860					Trasporte pesado	
	≤ 6350		14,4	1,1	5		3
	> 6350		37,1	1,9	5		4
* Prueba Realizada a nivel del mar							
** En g/b*HP-h (gramos/brake*Caballos de Potencia-hora)							

Fuente: Norma INEN NTE 2204:99

**Tabla IV.5 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor a gasolina a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)**

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso de Referencia Kg	CO g/Km	HC+NO <sub>x</sub> g/Km	Ciclos de Prueba	Evaporativas g/ensayo SHED
M1 (1)	≤3500		2,72	0,97	ECE 15 + EUDC	2
M1 (2) , N1		<1250	2,72	0,97		2
		>1250<1700	5,17	1,4		2
		>1700	6,9	1,7		2
<p>* Prueba Realizada a nivel del mar</p> <p>1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros mas el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2,5 toneladas.</p> <p>2) Vehículos que transportan mas de 5 pasajeros mas el conductor y con un peso bruto del vehículo exceda de 2,5 toneladas.</p>						

Fuente: Norma INEN NTE 2204:99

### 4.3 PRUEBAS REALIZADAS

El objetivo principal de las pruebas es evaluar la eficiencia de regeneración (limpieza) de la actividad catalítica del catalizador que a brindado la investigación del proyecto; para lo que se realizarán mediciones de emisiones de gases de escape al vehículo a gasolina, facilitado por la ESPEL.

#### 4.3.1 EQUIPO UTILIZADO

El Analizador de Gases RAG GasCheck es un instrumento que se utiliza para la medición de los gases de escape de motores a gasolina. Las características de precisión, confiabilidad y pequeño tamaño están dadas gracias a que ha sido desarrollado con componentes de última tecnología. El RAG GasCheck utiliza el método de medición por infrarrojo no dispersivo, que cumple o supera las normas de precisión internacionales ASM/BAR97, ISO3930 y OIML R99 clase 0. Su pequeño tamaño y bajo consumo lo convierte en un equipo portátil que puede ser alimentado

por la propia batería del vehículo, posibilitando así efectuar pruebas de “ruteo” con el vehículo en movimiento.

### Características Técnicas

Método de medición: Infrarrojo no dispersivo (CO, CO<sub>2</sub>, HC)

Sensores electroquímicos (O<sub>2</sub>, Nox)

**Tabla IV.6. Especificaciones**

<b>Gas</b>	<b>Rango Precisión</b>	<b>Resolución</b>
CO	15% vol.	+/-3% de lectura 0.01% vol
CO <sub>2</sub>	20%vol.	+/-3%de lectura 0.01%vol.
HC	1500 ppm vol. (hexano)	+/-3%de lectura 0.01ppmvol.
O <sub>2</sub>	25% ppm vol.	+/-5%de lectura 0.01%vol.
NO <sub>x</sub>	5000 ppm vol.	+/-5%de lectura 1ppm vol

**Tabla IV. 7. Características del analizador de gases**

Tiempo de respuesta	(0 a 95%): <14 seg.
Tiempo de calentamiento	60 seg.
Temperatura de trabajo	+2 a 45 °C
Humedad	95% máx. (no condensada)
Tiempo de operación de sensor de O <sub>2</sub>	Aproximadamente 2 años
Alimentación	110-220 Vca +/- 10% o 12 Vcc, 2.5 A

Tamaño	36 cm * 12 cm
Peso	4 Km

**Tabla IV. 8. Descripción**

<b>Accesorios incluidos</b>
Cables de alimentación
Sonda de toma de gases
Manguera con filtro
Pinza para medir RPM
Impresora
Cable conexión PC
Software 95 en adelante

Los demás parámetros del analizador de gases se describen en el anexo 2

#### **4.3.2 PROCEDIMIENTO**

Consiste en realizar las mediciones de emisiones de gases de escape al vehículo facilitado por la ESPEL, en dos etapas, inicial y final. La etapa inicial con el catalizador del convertidor catalítico envenenado (sucio) debido a su deterioro por vida útil, y la etapa final con el catalizador regenerado (limpio).

El procedimiento que a continuación se define va de acuerdo con lo expuesto en la prueba estática de la Norma INEN NTE 2204:99. Recomendándose que se efectúe con vehículos que hayan sobrepasado los 40000 Km. De circulación, para así obtener

un análisis de resultados más confiable entre la etapa inicial y la final (catalizador regenerado). Los pasos son:

- a) Estacionar debidamente el vehículo, para que se facilite la correcta colocación de la sonda flexible en la salida del sistema de escape del vehículo.
- b) Bloquee las ruedas y aplique el freno de estacionamiento.
- c) Deje en marcha el motor por 15 minutos con la transmisión en neutro (para cajas manuales) o estacionamiento (para cajas automáticas).
- d) Verificar que en el sistema de escape del vehículo no existan fugas, para que las lecturas que entrega el equipo no tengan errores, figura 4.11.



**Figura 4.11 Revisión del escape**

- e) Encender el equipo analizador de gases infrarrojo y configurar su funcionamiento, figura 4.12.



**Figura 4.12 Analizador de gases infrarrojo**

- f) Colocar la sonda flexible en la salida del sistema de escape del vehículo, procurando que los cables y mangueras de caucho no sean estropeados por personas u objetos, figura 4.13.



**Figura 4.13 Conexión de la sonda**

- g) Con el motor en marcha mínima normal se procede a la toma de datos en el estado inicial, la misma que es automática, previamente habiendo sido configurada en el equipo, figura 4.14



**Figura 4.14 Toma de la lectura de los gases de escape**

- h) Una vez comprobada la estabilización de las lecturas, se configura el equipo para imprimir, obteniéndose así una hoja de datos. La que presenta en porcentajes la cantidad de monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno; las partes por millón de residuos de hidrocarburos; y coeficiente lambda, figura 4.15



**Figura 4.15 Hoja de dato obtenidos**

- i) Se procede a retirar la sonda flexible de la salida del sistema de escape y se la coloca en la consola del equipo analizador de gases.
- j) Verificar que el sistema de escape del vehículo este lo suficientemente frío, para que al efectuar el aflojamiento de los pernos, no haya inconvenientes posteriores de averías en las roscas.
- k) Desinstalar el convertidor catalítico del sistema de escape del vehículo con la herramienta y equipo adecuado, figura 4.16



**Figura 4.16 Desmontaje del catalizador**

- l) Efectuar el montaje de los convertidores catalíticos en el Caldero, considerando las indicaciones y parámetros de operación (figura 4.17)



**Figura 4.17 Montaje del catalizador en el Caldero**

- m)** Ejecutar con el Caldero el procedimiento de limpieza del catalizador del convertidor catalítico según lo descrito en el capítulo 3; que consiste en hacer pasar a través del convertidor catalítico vapor de agua saturado a 320.77 [°F] y 90.6 [Psia] de presión por 30 minutos, figura 4.18



**Figura 4.18 Limpieza del catalizador**

- n)** Esperar a que el convertidor catalítico este lo suficientemente frío, para que al efectuar el aflojamiento de los pernos de la bancada, no haya inconvenientes posteriores en las roscas.
- o)** Desmontar el convertidor catalítico del Caldero, figura 4.19



**Figura 4.19 Desmontaje de catalizador del Caldero**

- p)** Reinstalar el convertidor catalítico en el sistema de escape del vehículo, verificando que el mismo este adecuadamente instalado como recomienda el fabricante, y que posteriormente no ocasione problemas de funcionamiento, figura 4.20



**Figura 4.20 Montaje del catalizador regenerado en el vehículo**

- q)** Para efectuar la toma de datos en el estado final (catalizador regenerado), repetir el procedimiento que antecede, desde el literal a, hasta el literal i, además realizar este procedimiento para los 5 catalizadores de prueba.

### **4.3.3 DATOS OBTENIDOS**

Las mediciones de emisiones de gases de escape se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPEL en Latacunga, en cambio la limpieza de los catalizadores de convertidores catalíticos se la efectuó en el Laboratorio de Motores de la FIME en la ESPE matriz, en ambos casos las condiciones ambientales fueron normales como presión, temperatura y humedad relativa, respectivamente a cada zona.

Los datos obtenidos antes y después de la regeneración de los catalizadores se los van a procesar y comparar de acuerdo a la NORMA INEN NTE 2003:99, en la cual se basa la Revisión Técnica Vehicular de Quito que a continuación se detalla en la siguiente tabla IV.9.

**Tabla IV.9 Valores Máximos de emisiones de Vehículos a Gasolina (RTV 2009)**

#### **Prueba en vacío en altas y bajas revoluciones**

<b>Año Modelo</b>	<b>CO (% V) Monóxido de carbono</b>	<b>HC (ppm) Hidrocarburos</b>	<b>O<sub>2</sub> (% V) Oxígeno</b>
2000 y posteriores	2	200	5
1990 - 1999	3.5	450	5
Menor a 1989	7	1100	5

**Fuente de Investigación: Revisión Técnica Vehicular**

La tabla IV.10 muestra los catalizadores que se van a instalar en el vehículo facilitado por la ESPEL, para la realización del protocolo de pruebas.

**Tabla IV.10 Identificación de los catalizadores de los vehículos facilitados para el protocolo de pruebas**

<b>Auto</b>	<b>Modelo</b>	<b>Año</b>	<b>Propietario</b>
1	Volkswagen Golf 1800 cm <sup>3</sup>	1997	Persona Particular
2	Ford 2200 cm <sup>3</sup>	1998	Persona Particular
3	Mazda 2200 cm <sup>3</sup>	2000	Persona Particular
4	Volkswagen Gol 1 600 cm <sup>3</sup>	2001	Persona Particular
5	Chevrolet Corsa 1600 cm <sup>3</sup>	2003	Persona Particular
6	Chevrolet Vitara 1600 cm <sup>3</sup>	2008	ESPEL

**Fuente: Investigación personal**

Las tablas IV.11 y IV.12 muestran los datos obtenidos de las mediciones con el analizador de gases infrarrojo, antes y después de efectuar la limpieza de los catalizadores.

**Tabla IV.11 Concentración de monóxido de carbono (CO) en los gases de escape en los seis catalizadores**

Vehículo		Gases de Escape (%)	
		Catalizador Envenenado	Catalizador Limpio
Marca	Nro	CO %vol	CO %vol
Volkswagen Golf	1	4.00	0.201
Ford Ranger	2	3.96	0.350.
Mazda	3	3.80	0.432
Volkswagen Gol	4	4.44	0.801
Chevrolet Corsa	5	3.67	0.707
Chevrolet Vitara	6	0.121	0.05

Fuente: Investigación personal

**Tabla IV.12 Concentración de ppm de HC en los gases de escape en los seis vehículos**

	Gases de Escape

Vehículo		Catalizador Envenenado	Catalizador Limpio
Marca	Nro	ppm HC	ppm HC
Volkswagen Golf	1	278	53
Ford Ranger	2	285	81
Mazda	3	300	89
Volkswagen Gol	4	295	99
Chevrolet Corsa	5	266	100
Chevrolet Vitara	6	45	25

Fuente: Investigación personal

#### 4.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos de las mediciones de los gases de escape antes y después de limpiar los catalizadores de los convertidores catalíticos se procede a realizar cálculos, como la eficiencia de la regeneración para monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no combustionados (HC), así como también graficar los resultados para su mayor entendimiento.

#### 4.3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta sección evalúa la eficiencia de regeneración tanto para CO, como para HC, en las tablas IV.13 y IV.14. A continuación, en las tablas IV.15 e IV.16, se realiza la comparación con los valores permitidos por las normas, para de esta manera cuantificar la regeneración del catalizador efectuada.

**Tabla IV.13 Porcentaje de eficiencia de regeneración de CO de gases de escape en los seis vehículos**

Vehículo		Gases de Escape (%)		(% <b>)</b> Eficiencia Regeneración
		Convertidor	Convertidor	
		Envenenado	Limpio	
Marca	Nro	CO	CO	
Volkswagen Golf	1	4.00	0.201	99
Ford Ranger	2	3.96	0.350.	97
Mazda	3	3.80	0.432	91
Volkswagen Gol	4	4.44	0.801	75
Chevrolet Corsa	5	3.67	0.707	70
Chevrolet Vitara	6	0.121	0.05	99

Fuente: Investigación personal

**Tabla IV.14 Porcentaje de eficiencia de regeneración de ppm HC de gases de escape en los seis vehículos**

Vehículo		Gases de Escape		% Eficiencia Regeneración
		Convertidor	Convertidor	
		Envenenado	Limpio	

Marca	Nro	ppm HC	ppm HC	
Volkswagen Golf	1	278	53	95
Ford Ranger	2	285	81	86
Mazda	3	300	89	84
Volkswagen Gol	4	295	99	79
Chevrolet Corsa	5	266	100	79
Chevrolet Vitara	6	45	25	99

Fuente: Investigación personal

Tabla IV.15 Concentración de CO y Valor permitido por La Norma de gases de escape en los seis vehículos

Vehículo		Gases de Escape (%)		Valor
		Convertidor	Convertidor	Permitido
		Envenenado	Limpio	
Marca	Nro	CO	CO	CO
Volkswagen Golf	1	4.00	0.201	3.5
Ford Ranger	2	3.96	0.350.	3.5
Mazda	3	3.80	0.432	2.00
Volkswagen Gol	4	4.44	0.801	2.00

Chevrolet Corsa	5	3.67	0.707	2.00
Chevrolet Vitara	6	0.121	0.05	3.50

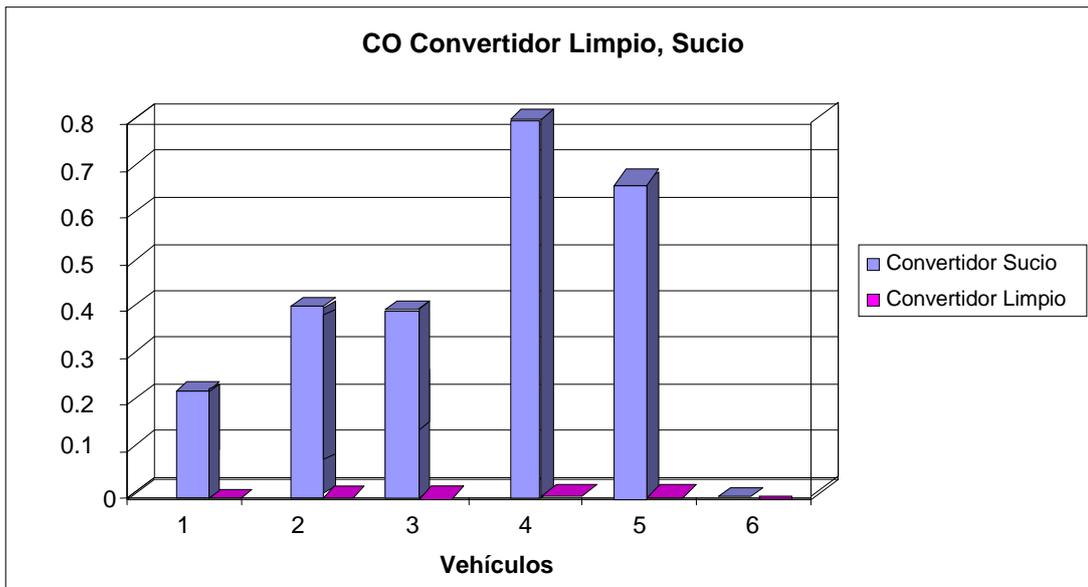
Fuente: Investigación personal

Tabla IV.16 Concentración de ppm de HC y valor permitido por La Norma de gases de escape en los seis vehículos

Vehículo		Gases de Escape		Valor
		Convertidor	Convertidor	Permitido
		Envenenado	Limpio	NORMA
Marca	Nro	ppm HC	ppm HC	ppm HC
Volkswagen Golf	1	278	53	450
Ford Ranger	2	285	81	450
Mazda	3	300	89	200
Volkswagen Gol	4	295	99	200
Chevrolet Corsa	5	266	100	200
Chevrolet Vitara	6	45	25	200

Fuente: Investigación personal

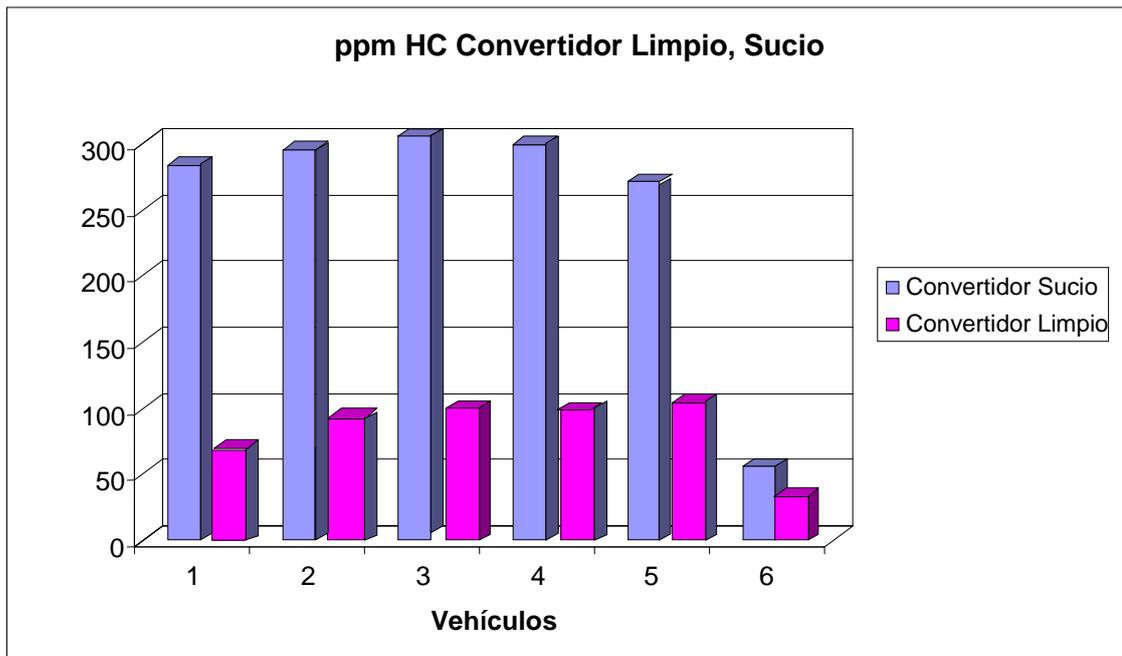
En la gráfica de la figura 4.25, se puede apreciar los porcentajes de CO para los catalizadores limpios y los catalizadores sucios de los seis tipos de convertidores correspondientes a los seis vehículos.



**Figura 4.25 Comparación de Porcentajes de CO para catalizadores Limpios vs Sucios**

Las columnas azules corresponden a las medidas de catalizadores sucios y las columnas de color morado representan las medidas para catalizadores limpios, se puede apreciar gráficamente la regeneración de cada convertidor, refiriéndonos únicamente al CO, de ahí que para que la regeneración sea exitosa depende de la calidad de los materiales que están hechos los convertidores, no así el primer vehículo es de procedencia Alemana, el catalizador segundo es de procedencia Americano y el catalizador quinto es de procedencia Brasileña, podemos apreciar que la columna morada esta en el porcentaje mas bajo que es de 0.201, siendo este el que tiene mejor porcentaje de regeneración.

Los 3 restantes son ensamblados en nuestro país pero entre el tercero y el sexto son de marca Chevrolet, existe también diferencia esto se debe a los estándares que cada marca se impone para las materias y sus proveedores.

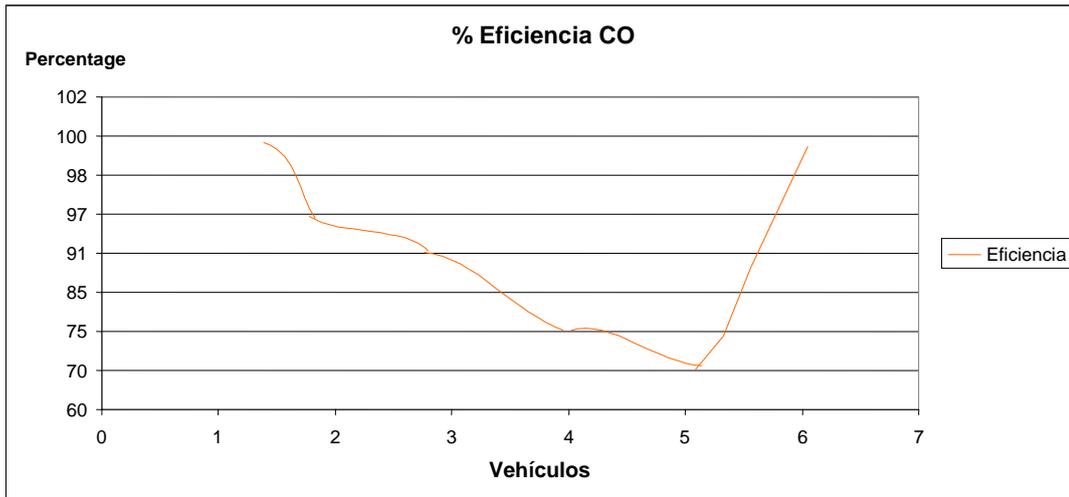


**Figura 4.26 Comparación de Porcentajes de ppm HC para catalizadores Limpios vs. Sucios**

En la figura 4.26 la gráfica ilustra los porcentajes de medición de ppm de hidrocarburos no combustionados (HC) para catalizadores limpios y sucios manteniendo la misma connotación de colores que en la grafica 4.25.

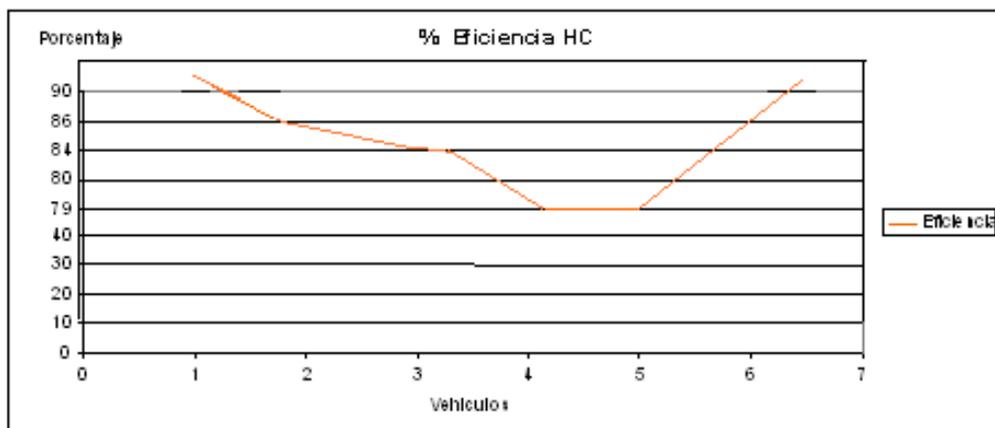
En la figura 4.26 se ratifica lo antes dicho que la capacidad de regeneración depende de la calidad de los materiales que están hechos los catalizadores, podemos ver que para el convertidor numero 1 que corresponde al vehículo ensamblado en Alemania es el que mas regeneración se logra a pesar que el año de ensamblaje de este vehículo fue realizado en 1997, dicho catalizadores brinda excelentes resultados en la regeneración, y con el resto de catalizadores que tienen porcentajes por debajo de regeneración que el primero.

Para los catalizadores de los vehículos de marca Chevrolet existe una regeneración aceptable que para los tres vehículos se mantiene casi en lo mismos rangos.



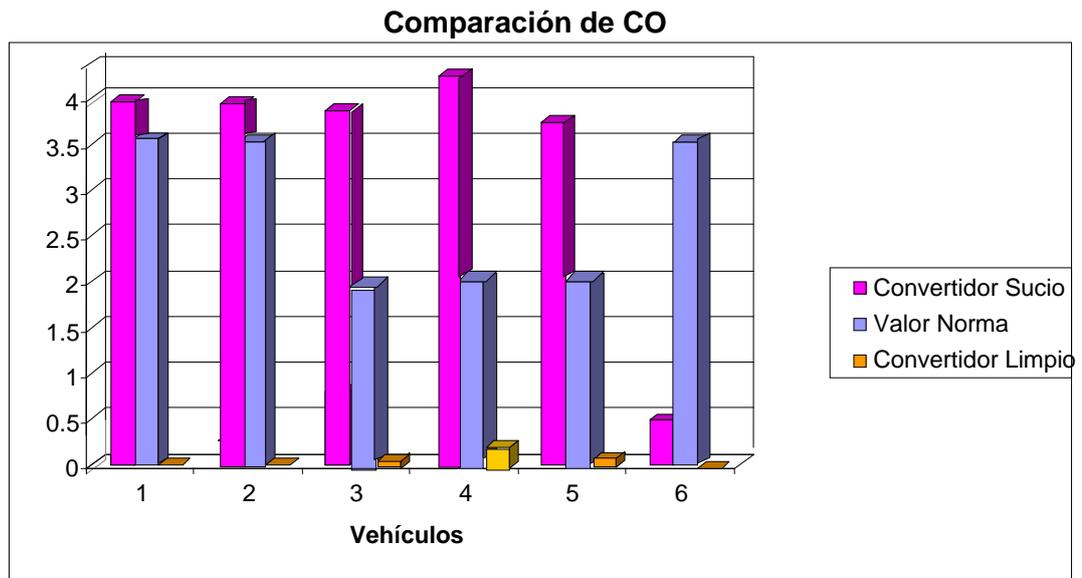
**Figura 4.27 Porcentajes de Eficiencia de CO para los seis catalizadores**

En la figura 4.27, la grafica nos permite ver en la curva de eficiencia de regeneración, que el primero, segundo, y sexto catalizador tienen una eficiencia del 98.3 % seguida en segundo lugar por los catalizadores de marca Chevrolet y Volkswagen con un margen del 83.6% de regeneración. Así la máxima regeneración para el parámetro de medición de CO se ubica en el 99 % y su Promedio en el 98 %.



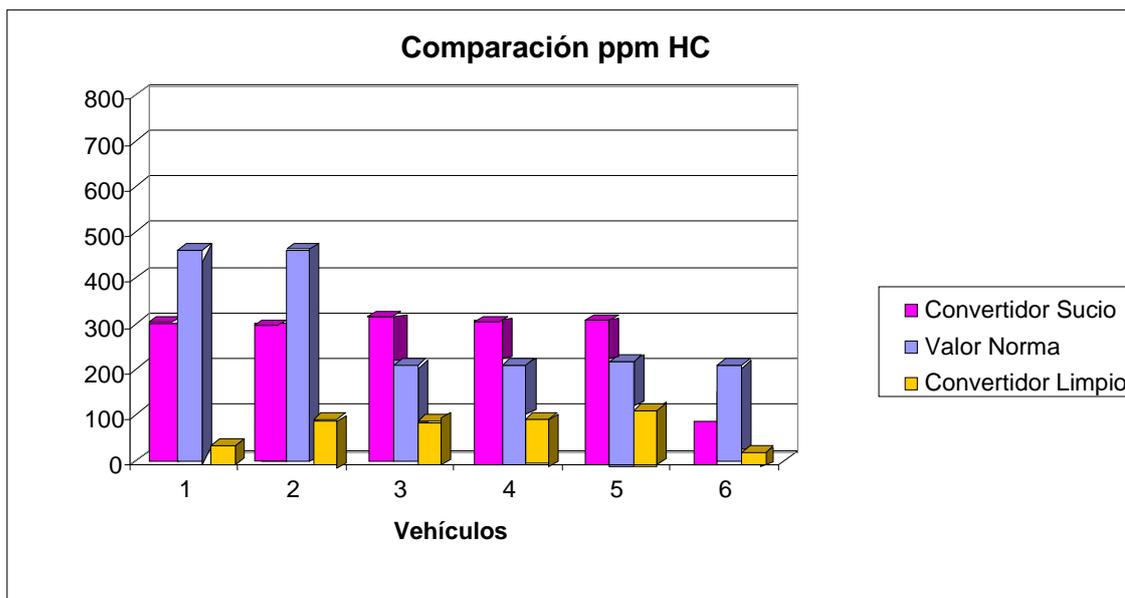
**Figura 4.28 Porcentajes de Eficiencia de ppm HC para los seis catalizadores**

Para la figura 4.28, los porcentajes de eficiencia se reducen para todos los catalizadores, pero siempre los dos primeros y el último con un alto nivel de regeneración sobre los otros catalizadores, por lo ya mencionado anterior mente. Manteniendo la misma ubicación para los restantes valores. Llegando a su máximo valor de 95% para el convertidor de procedencia alemana y teniendo un promedio de eficiencia de regeneración para el grupo de seis de 87%.



**Figura 4.29 Comparación de Porcentajes de CO entre catalizador sucio, Valor de la Norma y catalizador limpio para los seis catalizadores.**

En grafica la figura 4.29 se puede ver que en este parámetro todos los valores se encuentran por muy de bajo de la norma.



**Figura 4.30 Comparación de Porcentajes de ppm HC entre catalizador sucio, Valor de la Norma y catalizador limpio para los seis catalizador**

En la gráfica de la figura 4.30 se llama a colación a los tres valores porcentuales de ppm HC como son cuando el catalizador esta sucio, valor de la norma y cuando el catalizador esta limpio, así se puede visualizar y comparar gráficamente lo que esta ocurriendo, el valor de la norma más alto es el de los des primeros catalizadores ya que a diferencia de los demás el catalizador de este convertidor catalítico fue fabricado en 1997, 1998 y los otros sobre el año 2000; la norma se hace mas flexible para los vehículos que están fabricados por de bajo del año 2000 por que en el país a partir de este año se exigió que los vehículos tengan convertidores catalíticos, en todo caso todos los catalizadores de los convertidores cumplen la norma satisfactoriamente.

#### **4.3.6 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y PRUEBAS DE CARRETERA ANTES Y DESPUÉS DE LA REGENERACION DE CATALIZADORES.**

##### **Consumo de combustible**

A continuación los resultados obtenidos (Tabla IV.17), del consumo de combustible antes de la regeneración de los catalizadores.

**Tabla IV.17 Consumo de combustible antes de la regeneración**

<b>Catalizadores</b>	<b>Distancia recorrida</b>	<b>Combustible Litros</b>	<b>Costo</b>	<b>Combustible Galones</b>	<b>Costo Aprox.</b>
Volkswagen Golf	10 Km	1	\$0.50	1	\$2.00
Ford	10 Km	1.5	\$0.70	1	\$2.80
Mazda	10 Km	1.6	\$0.80	1	\$3.20
Volkswagen Gol	10 Km	1	\$0.50	1	\$2.00
Chevrolet Corsa	10 Km	1	\$0.50	1	\$2.00
Chevrolet Vitara	10 Km	0.88	\$0.44	1	\$1.76

La tabla IV.18 nos indica el consumo de combustible después de la limpieza de los catalizadores.

**Tabla IV.18 Consumo de combustible después de la regeneración**

<b>Catalizadores</b>	<b>Distancia recorrida</b>	<b>Combustible Litros</b>	<b>Costo</b>	<b>Combustible Galones</b>	<b>Costo Aprox.</b>
Volkswagen Golf	10 Km	0.90	\$0.45	1	\$1.80
Ford	10 Km	1.20	\$0.60	1	\$2.40
Mazda	10 Km	1.40	\$0.70	1	\$2.80
Volkswagen Gol	10 Km	0.96	\$0.48	1	\$1.92
Chevrolet Corsa	10 Km	0.98	\$0.49	1	\$1.96

Chevrolet Vitara	10 Km	0.88	\$0.44	1	\$1.76
------------------	-------	------	--------	---	--------

Nos podemos dar cuenta que el consumo de combustible después de la regeneración de los catalizadores es menor. Para el primer caso antes de la regeneración el consumo en 10Km de recorrido fue de un litro de combustible, después de la limpieza tenemos en los mismos 10 Km con un consumo de 900 cm, con un ahorro del 10% en combustible y precio, de la misma manera para los demás catalizadores tenemos un 10 % de ahorro de combustible excepto con el último catalizador que se mantiene en su rango de consumo de combustible ya que es el catalizador del vehículo de prueba que es del año de fabricación 2008 por lo tanto la regeneración en este fue en rangos bajos, por lo que no afecta en consumo.

#### **4.3.7 Pruebas de carretera**

Antes de la limpieza de los catalizadores el rendimiento del motor en subidas era deficiente, provocando atrancamientos leves en momento, esto con respecto a los catalizadores envenenados utilizados en el vehículo de prueba, y después de la limpieza de los catalizadores el vehículo tubo cambio y su funcionamiento fue óptimo, no presentó atrancos, ni desmayó en subidas, por lo demás el vehículo con los catalizadores de prueba no produjo ruidos extraños y tubo un desarrollo óptimo.

Refiriéndose al consumo de combustible es aceptable ya que después de la regeneración de los catalizadores se obtuvo un ahorro del 10 % en combustible y costo dándonos cuenta que con un buen funcionamiento del catalizador se obtiene mayor eficiencia.

En lo que respecta a las emisiones de gases contaminantes, después de realizar la regeneración de los catalizadores se observa un porcentaje alto de disminución en emisiones de CO y HC, con un porcentaje de eficiencia de regeneración del 88.5% en CO Y 87% en HC. Con esto nos podemos dar cuenta que se puede aportar

favorablemente a la disminución de contaminación manteniendo en buen estado de funcionamiento a los catalizadores.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- Una de las principales fuentes de contaminación son el aumento incontrolable del parque automotor y la mala calidad del combustible con un porcentaje del 80%, total según la investigación realizada por el Centro de Revisión Técnica Vehicular de la ciudad de Quito.
- En base al desarrollo del proyecto se ha comprobado que la regeneración de catalizadores por vapor de agua saturado es factible para realizar mantenimientos en vehículos a gasolina.
- Las normas en la actualidad exigen un mayor control de niveles de contaminación, para lo cual requieren el uso de catalizadores de última generación en todos los vehículos logrando un eficiente control en los vehículos a gasolina.
- El proceso más eficiente para obtener vapor de agua saturado utiliza un caldero del tipo pirotubular ya que este trabaja con una presión no mayor a los 200 psi, además de poseer flexibilidad en su operación y bajo costo.
- Se logra una eficiencia promedio del 88.5% de regeneración de monóxido de carbono (CO) en los catalizadores de vehículos a gasolina.
- Se logra obtener un promedio de 87% de eficiencia de regeneración de hidrocarburos no combustionados (HC) en los catalizadores de vehículos a gasolina.
- La eficiencia de la regeneración depende directamente de la calidad de los materiales con los cuales esta construido el convertidor catalítico.
- El consumo de combustible en un catalizador con un buen estado de funcionamiento es menor, esto quiere decir que a más de evitar contaminación ambiental aporta a nuestra economía.

- Con la investigación del método de limpieza de catalizadores por medio de vapor de agua saturado, se genera un beneficio ecológico con su utilización ya que al tener una alternativa de costo bajo, con lo que los propietarios de autos deciden limpiar los catalizadores en vez de retirarlos, aporta notoriamente al mejoramiento de la calidad del aire que respiramos.

## **RECOMENDACIONES**

- Utilizar todos los implementos de seguridad como ropa de trabajo industrial adecuada, debido que se trabaja con sistemas de alta temperatura (superiores a 160 °C) ya que se trabaja con vapor a alta presión.
- Se debe realizar una buena puesta a punto del motor con la finalidad de reducir al máximo los niveles de contaminación del mismo y además preservar la vida útil del catalizador del vehículo de prueba y de los demás.
- Verificar que el sistema de escape del vehículo este lo suficientemente frío, para que al efectuar el aflojamiento de los pernos, no haya inconvenientes posteriores de deformaciones en las roscas.
- Calentar el motor del vehículo a la temperatura ideal de funcionamiento con la finalidad de obtener los menores niveles de contaminación en vista que el catalizador comienza a funcionar a partir de los 250 °C.
- Utilizar correctamente las herramientas y maquinas para tener precisión en el trabajo y datos obtenidos para la correcta realización de las practicas de la investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- a) **SPIRAX SARCO, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.** Curso De Vapor. Quito, 1994, P105.
- b) **ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.** Código de Dibujo Técnico – Mecánico. Quito, 1981.
- c) **ALONSO,** Técnicas del automóvil. Edición 1998
- d) **STUBBLEFIELD, M. y HAYNES, J.** Manual Haynes de Diagnostico de Inyección de Combustible. USA, Haynes Norte América, 1996, pp. 2-1, 3A14 - 3A16.
- e) **OBERT, E.** Motores de Combustión Interna, Análisis y Aplicaciones. Traducido del inglés por Cristóbal Monsivais. 2da ed. México, CEGSA, 1997, pp. 132-150, 385-398. .

### DIRECCIONES DE INTERNET

- f) [http://www.as-sl.com/pdfinfo\\_catalizador.pdf](http://www.as-sl.com/pdfinfo_catalizador.pdf), Constitución y funcionamiento del catalizador, español, noviembre 2003.
- g) <http://www.arpem.com>, Combustión de la mezcla en un motor gasolina y diesel, español. diciembre 2003.
- h) <http://www.arpem.com>, Como se quema la mezcla en el interior de un motor, español. diciembre 2003.

- i)** <http://www.cise.com>, Análisis de los gases de escape de los motores de combustión interna, español, diciembre 2003.
  
- j)** <http://www.mvc.com>, Convertidores Catalíticos, español, noviembre 2003.
  
- k)** <http://www.arvin-rp.com>, Técnica del convertidor catalítico, español, enero 2004.