



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE  
GASES DE ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN  
VEHÍCULO A GASOLINA”**

**ARROBA MUÑOZ LEONARDO DANILO  
JIMÉNEZ MARTÍNEZ DANNY GABRIEL**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Abril, 12 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**LEONARDO DANILO ARROBA MUÑOZ**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES DE  
ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN VEHÍCULO A  
GASOLINA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Raúl Cabrera E.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Dra. Cumandá Carrera B.  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LEONARDO DANILO ARROBA MUÑOZ

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN VEHÍCULO A GASOLINA”

Fecha de Examinación: ABRIL 12 DE 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Raúl Cabrera (DIRECTOR DE TESIS)			
Dra. Cumandá Carrera (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Abril, 12 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**DANNY GABRIEL JIMENEZ MARTINEZ**

---

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN VEHÍCULO A GASOLINA”**

---

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny NovilloA.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Raúl Cabrera  
DIRECTOR DE TESIS

---

Dra. Cumandá Carrera  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: DANNY GABRIEL JIMENEZ MARTINEZ

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN VEHÍCULO A GASOLINA”

Fecha de Examinación: ABRIL 12 DE 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Raúl Cabrera (DIRECTOR DE TESIS)			
Dra. Cumandá Carrera (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Leonardo Danilo Arroba Muñoz

---

Danny Gabriel Jiménez Martínez

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia, en especial a mis queridos abuelitos TERESA y FAUSTO por su apoyo y comprensión que me han mostrado todos estos años. Que día a día se esforzaron para brindarme la oportunidad de estudiar y así cumplir con este sueño de tener una profesión.

A mi querida tía Judith que con su alegría y sus ocurrencias hace que la vida sea más sencilla.

**Danny Gabriel Jiménez Martínez.**

“Con amor eterno te he amado; por tanto, te prolongué mi misericordia”. Jeremías 31:3

A DIOS por su eterno amor y misericordia que me impulsan a avanzar sin mirar atrás, por la vida eterna dádiva de CRISTO y por la guía permanente de su SANTO ESPÍRITU; A mi FAMILIA baluarte de mis victorias y fortaleza en mis caídas, porque siempre lo dieron todo por todos; A mis AMIGOS, por su ánimo que me motiva a seguir adelante.

**Leonardo Danilo Arroba Muñoz.**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A la Dra. Comanda Carrera y al Ing. Raúl Cabrera por impartir sus conocimientos y guiarnos en el desarrollo de este proyecto de tesis.

Para mi gran amigo y compañero LEONARDO DANILO ARROBA MUÑOZ por su apoyo moral y comprensión brindada durante todos estos años.

Para todos los amigos y compañeros, en especial para JUAN DIEGO CÁRDENAS GUAMÁN por brindarme su amistad que sin lugar duda es ejemplo de honestidad, reflejo de superación, responsabilidad y dedicación.

**Danny Gabriel Jiménez Martínez.**

“Estas cosas os he hablado para que en mí tengáis paz. En el mundo tendréis aflicción; pero confiad, yo he vencido al mundo”. Juan 16:33

A esta gran Institución Educativa que me dio la oportunidad de conquistar este sueño; A Raúl y Cumandá por ser solícitos en brindarnos su ayuda en la consecución de este proyecto; A Danny por su confianza y su muy preciada amistad.

Gracias infinitas.

**Leonardo Danilo Arroba Muñoz**

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>Pág.</b>
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.2.1	Justificación técnica.....	1
1.2.2	Justificación ambiental.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	
2.1.	Historia del automóvil.....	4
2.2.	El automóvil y el ambiente.....	8
2.3.	Principios de funcionamiento del motor a gasolina.....	11
2.4.	Descripción del ciclo Otto.....	11
2.5.	Motores con sistemas de carburación.....	14
2.6.	Motores con sistemas de inyección.....	18
2.7.	Relación aire combustible.....	21
2.7.1.	Mezcla estequiométrica.....	23
2.7.2.	Mezcla rica.....	24
2.7.3.	Mezcla pobre.....	24
2.8.	Origen de los gases de combustión.....	25
2.9.	Gases productos de la combustión.....	26
2.9.1.	Hidrocarburos.....	27
2.9.2.	Óxidos de nitrógeno.....	29
2.9.3.	Monóxidos de carbono.....	31
2.9.4.	Dióxidos de carbono.....	34
2.10.	Reacciones químicas en los gases de combustión.....	46
<b>3.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA</b>	
3.1	Sistema de escape de los gases quemados.....	50
3.1.1	Colector de los gases de escape.....	51

3.1.2	Conductos de evacuación de gases.....	53
3.1.3	Catalizador.....	54
3.2	Sistema de inyección de aire en el escape.....	56
3.2.1	Filtro de aire.....	58
3.2.2	Válvula de activación por vacío.....	58
3.3	Adaptación del sistema en un vehículo a gasolina.....	60
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA</b>	
4.1	Prueba de gases de escape en el vehículo a gasolina sin el sistema de inyección de aire.....	66
4.1.1	Recopilación de datos.....	70
4.1.2	Prueba de gases de escape en el vehículo a gasolina luego de realizar la implementación del sistema.....	71
4.1.3	Recopilación de datos.....	81
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
5.1	Comparación de los datos obtenidos.....	73
5.2	Obtención de gráficas comparativas.....	79
5.3	Resultados finales.....	82
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1	Conclusiones.....	83
6.2	Recomendaciones.....	83

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Variación de la relación estequiométrica de acuerdo al tipo de combustible..	23
2	Origen y efectos de los gases contaminantes.....	25
3	Gases producidos en la combustión.....	26
4	Principales gases que contaminan el ambiente.....	27
5	Índice de calidad del aire.....	31
6	Fuentes que producen el CO.....	32
7	Comparación del CO con otros contaminantes.....	33
8	Efectos en la salud por la exposición al dióxido de azufre.....	49
9	Niveles máximos de emisiones CORPAIRE.....	67
10	Costos de revisión 2011 CORPAIRE.....	68
11	Limites de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.....	69
12	Datos obtenidos primer ensayo.....	70
13	Datos obtenidos segundo ensayo.....	71
14	Datos obtenidos tercer ensayo.....	71
15	Comparación de datos del primer ensayo.....	73
16	Comparación porcentual del primer ensayo.....	74
17	Comparación de datos del segundo ensayo.....	75
18	Comparación porcentual del segundo ensayo.....	75
19	Eficiencia del sistema. Primer ensayo vs segundo ensayo.....	76
20	Comparación del tercer ensayo.....	77
21	Comparación del tercer ensayo en porcentajes.....	77
22	Eficiencia del sistema. Primer ensayo vs segundo ensayo.....	78
23	Eficiencia del sistema. Segundo ensayo vs tercer ensayo.....	79

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Historia del automóvil.....	5
2 Modelo de un vehículo creado por Henry Ford (Tin lizzie).....	7
3 Ejemplo de materiales reciclables.....	9
4 Esquema de ubicación y clasificación de los distintos materiales plásticos utilizados en un vehículo actual.....	10
5 Representación gráfica del tiempo de admisión.....	12
6 Representación gráfica del tiempo de compresión.....	12
7 Representación gráfica del tiempo de expansión.....	13
8 Representación gráfica del tiempo de escape.....	14
9 Particularidades de diferentes mezclas.....	15
10 Vaporización.....	16
11 Vaporización por aporte de calor.....	16
12 Difusor.....	17
13 Esquema de un motor con sistema a carburación.....	18
14 Esquema de un sistema de inyección electrónico a gasolina.....	20
15 Relación aire-combustible teórico.....	21
16 Relación aire-combustible práctico.....	22
17 Gases contaminantes producidos por un vehículo.....	27
18 Componentes de los hidrocarburos.....	27
19 Origen y aplicación de los hidrocarburos.....	28
20 Proporción de HxCy en función de la mezcla.....	29
21 Proporción de NOx en función de la mezcla.....	29
22 Fuentes de óxido de nitrógeno.....	30

23	Daños en las personas por el CO.....	31
24	Proporción del CO en función de la mezcla.....	34
25	El CO <sub>2</sub> Principal causante del efecto invernadero.....	34
26	Sistema de escape.....	36
27	Esquema de un colector de gases de escape.....	37
28	Esquema de diferentes conductos de evacuación de los gases escape.....	38
29	Catalizador de una vía.....	39
30	Catalizador de dos vías.....	40
31	Catalizador de tres vías (TWC).....	41
32	Componentes de un sistema de inyección de aire en el escape.....	43
33	Sistema de inyección de aire en el escape por medio de válvulas pulsair.....	43
34	Principio de funcionamiento de las válvulas pulsair.....	44
35	Sistema de escape sin control de emisiones.....	50
36	Sistema de escape. Control de emisiones.....	51
37	Colector de hierro fundido.....	52
38	Colector de gases tipo Header.....	53
39	Conductos de evacuación de los gases de escape.....	54
40	Gases de escape eliminados por un catalizador de tres vías (TWC).....	55
41	Catalizador seleccionado TWC.....	55
42	Componentes internos de un catalizado.....	56
43	Válvulas de vacío.....	57
44	Cañerías de cobre.....	57
45	Filtro de aire seleccionado.....	59
46	Esquema de las válvulas pulsair.....	60
47	Vehículo utilizado.....	61

48	Implementación del Header.....	61
49	Perforaciones para los acoples.....	62
50	Acoples machos de 1/4x 3/8.....	62
51	Acoples macho, mangueras y válvulas.....	63
52	Acoples macho soldados con cañerías.....	63
53	Sistema completo montado en el vehículo.....	64
54	Convertidor catalítico.....	64
55	Convertidor catalítico montado en el sistema de escape.....	65
56	Toma de valores.....	70
57	Toma de datos (Tercer ensayo).....	72
58	Variación del CO antes y después de adaptar el sistema.....	80
59	Variación de los HC antes y después de adaptar el sistema.....	80
60	Variación del CO2 antes y después de adaptar el sistema.....	81
61	Variación de los gases contaminantes en los diferentes ensayos.....	81

## LISTA DE ABREVIACIONES

AQI	: Índice de calidad del aire
ATM	: Atmósfera (Unidad)
FCC	: Fluorclorurados
C	: Carbono
CH <sub>4</sub>	: Metano
CO	: Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	: Dióxido de carbono
CORPAIRE	: Corporación para el mejoramiento del aire
Cuencaire	: Cuenca Aire
ECM	: Módulo de control electrónico
EC	: Elementos de carbono
H <sub>2</sub>	: Hidrógeno
HxCy	: Hidrocarburos
H <sub>2</sub> O	: Agua
INEN	: Instituto Ecuatoriano de Normalización
Mpa	: Mega pascales (Unidad)
N <sub>2</sub>	: Nitrógeno
NO <sub>x</sub>	: Óxidos de nitrógeno
O <sub>2</sub>	: Oxígeno
PMI	: Punto muerto inferior
PMS	: Punto muerto superior
RPM	: Revoluciones por minuto
RCA	: Relación aire-combustible
S.L	: Sobre el límite
SO <sub>x</sub>	: Óxidos de azufre
TWC	: Catalizador de tres vías
U.V	: Ultravioleta
VA	: Válvula de admisión
VE	: Válvula de escape

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 203
- B** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 204
- C** ENSAYO 3
- D** ENSAYO 2
- E** ENSAYO 3

## RESUMEN

El presente trabajo de “Implementación de un Sistema de tratamiento de Gases de Escape mediante la Inyección de aire en un Vehículo a Gasolina” tiene el objetivo contribuir al mejoramiento de la calidad del aire, debido a los excesivos niveles de contaminación emitidos por automotores que no poseen control de emisiones.

La finalidad de este proyecto de tesis es Implementar un Sistema de Tratamiento de Gases de Escape mediante la Inyección de Aire, en un motor ciclo Otto. Lo que permite presentar una solución práctica de control ambiental, provocando con esto reacciones de oxidación y reducción en los gases de escape expulsados al ambiente por estos vehículos.

Los resultados de la Implementación del Sistema de Tratamiento de Gases fueron tomados de un vehículo que no posee control de emisiones (Chevrolet Cóndor 1979), obteniendo los siguientes datos: HC de 2771 ppm a 457 ppm, CO de 10.67% a 1.66%,  $O_2$  de 3.69% a 0.02%, que en general representan una eficiencia del sistema de un **73%** sobre los valores de contaminación obtenidos originalmente en el vehículo sin ningún sistema de control de emisiones.

Estos resultados permiten que el vehículo esté apto para aprobar los requerimientos propuestos por la CORPAIRE en relación al nivel de gases contaminantes producidos por este vehículo.

Adicionalmente presenta una mejora en los niveles requeridos por el INEN en la norma técnica NTEINEN 2 204 para un vehículo con estas características.

En conclusión, El Sistema de Tratamiento de Gases Implementado fue capaz de reducir considerablemente los niveles de gases nocivos producidos, pudiendo ser mejorados aun más mediante la optimización de la inyección del aire dentro del escape.

## **ABSTRACT**

The present work deals with the Implementation of an Exhaust Gas Treatment System through the Air Injection in a Gasoline Powered Vehicle to contribute to the air quality improvement because of the excessive contamination levels from the automotives which do not have emission control.

The purpose of this thesis project is implementing an Exhaust Gas Treatment System through Air Injection in an Otto cycle motor, which permits to present a practical solution for the environmental control causing with this oxidation and reduction reactions in the exhaust gases sent to the environment by these vehicles.

The gas treatments system implementation results were taken from a vehicle which does not have any emission control (Chevrolet Condor 1979) resulting in the following data: HC of 2771 ppm to 457 ppm, CO of 10.67% to 1.66%, O<sub>2</sub> of 3.69% to 0.02% which in general represent a 73% system efficiency over the contamination values originally obtained in the vehicle without any emission control.

These results permit that the vehicle be suitable to approve the requirements proposed by the CORPAIRE as related to contaminant gas level produced by this vehicle.

Additionally it presents an improvement in the levels required by the INEN in the technical norm NTE INEN 2 204 for a vehicle with such characteristics.

As a conclusion, the implemented gas treatment system was capable of considerably reducing the produced noxious gas level with the possibility of being improved even more through the optimization of the air injection in the exhaust.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

En la última década el continuo crecimiento del parque automotor en el Ecuador y a los escasos controles por parte de las autoridades encargadas del área ambiental, han generado un aumento en los niveles de contaminación de la atmósfera.

Actualmente los fabricantes de automóviles han construido diversos sistemas para evitar la excesiva contaminación, pero esto no es suficiente para solucionar un problema a nivel mundial ya que la industria automotriz es una de las fuentes de mayor contaminación del ambiente.

Es necesario contribuir en la disminución de estos gases extremadamente nocivos para la humanidad, por lo que es fundamental implementar un sistema que contribuya a la disminución de los gases contaminantes provocados por un vehículo. Mediante la implementación del sistema de tratamiento de gases de escape por inyección de aire, pretendemos contribuir en la disminución de la contaminación del ambiente.

### 1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación técnica.* Debido al incremento en los niveles de contaminación actual en el ambiente como resultado de la gran cantidad de emisiones que producen los vehículos especialmente los de combustión interna el ambiente está totalmente contaminado.

Pese a los esfuerzos de los fabricantes al realizar modificaciones en el motor tendiente a reducir los niveles de contaminación, los gases de escape generados en el proceso de combustión siguen siendo contaminantes, por lo que es necesario que estos gases nocivos se sometan a tratamientos mediante dispositivos adecuados que permitan reducir los niveles de contaminación.

Por la necesidad urgente de preservar el ambiente nos vemos en la obligación moral como Ingenieros Automotrices de aportar a esta lucha de conservación del planeta,

mediante la implementación de un sistema de postcombustión que ayude a reducir las emisiones contaminantes provocadas por los vehículos, contribuyendo de esta manera a disminuir y preservar un ambiente sano para las futuras generaciones.

El sistema implementa una postcombustión de los gases quemados del motor aprovechando las altas temperaturas de los mismos, con esto se logra reducir los niveles de hidrocarburos no quemados y monóxidos de carbono, teniéndose como resultado la disminución en la emisión de gases nocivos para la salud.

*1.2.2 Justificación ambiental.* Durante el proceso de combustión en el motor de un automóvil se genera una gran cantidad de compuestos que pueden contaminar el aire debido a una combustión incompleta del combustible y de los componentes del aire, tales como hidrocarburos no quemados y CO, que contribuye a la formación de humos y neblinas peligrosos para la salud.

La polución es la acumulación de productos tóxicos en el aire que pueden provocar graves afecciones a los seres humanos, animales y la vegetación. La polución producida por los automóviles proviene de tres fuentes distintas, gases del cárter del motor, gases de escape y vapores de gasolina. Siendo los más contaminantes los gases de escape.

Ello nos ha obligado a tomar medidas tendientes a reducir la contaminación, limitando el porcentaje de gases nocivos emitidos por el escape a través de la **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN VEHÍCULO A GASOLINA.**

Este es un sistema que se puede aplicar en todos los vehículos de combustión interna, tanto en los que utilizan carburadores como en los de inyección con el propósito de cumplir con el único objetivo de reducir la contaminación del ambiente.

### **1.3 Objetivos**

*1.3.1 Objetivo general.* Implementar un sistema para el tratamiento de los gases de escape mediante inyección de aire que ayude a la disminución de la contaminación del ambiente.

### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- Contribuir a la protección del ambiente mediante la implementación de un sistema postcombustión en el tubo de escape de un automóvil.
- Reducir los niveles de gases contaminantes producidos por un vehículo durante su funcionamiento.
- Completar la combustión de los gases quemados antes de su salida al exterior reduciendo así sus efectos nocivos.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Historia del automóvil**

El automóvil ha llegado a ser un símbolo del siglo XX, superando a cualquier invención, la palabra automóvil significa “que se mueve por sí mismo”, se aplican para designar a los vehículos que se desplazan sobre o en un medio.

En sus inicios la locomoción del automóvil recurrió a la única fuente de energía conocida en ese entonces (el vapor). Los primeros motores de gasolina que funcionaron fueron proyectados siguiendo el esquema de los motores a vapor.

La gran mayoría de los automóviles utilizan una fuerza suministrada por un motor, donde se hace explotar una mezcla comprimida de aire y gasolina, utilizándose así la energía que se desarrolla para el desplazamiento del automóvil.

El motor de combustión interna no puede atribuirse a una sola persona, es decir, que fueron las ideas combinadas de los inventores las que contribuyeron al desarrollo del motor de combustión interna.

El inventor francés Lebon ideó en el año de 1799 una máquina a la cual le dio el nombre de “motor de combustión interna”, en esa máquina el inventor hizo arder cierta cantidad de gas combustible mezclado con cierta cantidad de aire, dentro de un cilindro provisto de un émbolo (pistón) y la expansión de los gases producidos por la combustión dentro del cilindro empujó el émbolo hacia fuera, sin embargo la máquina no fue perfeccionada debido a la muerte de Lebon.

Otro inventor el reverendo W. Cecil de Inglaterra construyó un motor semejante al de Lebon e hizo arder una mezcla combustible de hidrógeno y aire. En sus notas del experimento de Cecil se encontraron indicaciones claras de sus proyectos, ya que hizo notar que su motor estaba provisto de medios para transmitir energía y era capaz debido a las explosiones producidas encima de la cabeza del émbolo (pistón), hacer girar un eje a una velocidad de 60 revoluciones por minuto (rpm).

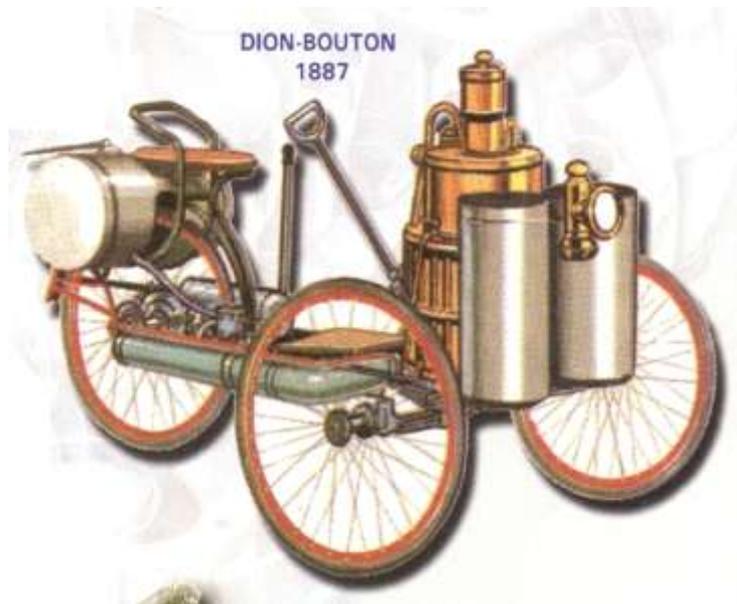
El inventor inglés llamado William Barnett ampliando los experimentos de Lebon y Cecil, encontró que era necesario para obtener una mayor cantidad de energía,

comprimir los gases en el cilindro antes de someterlos a la combustión, lo cual contribuyó ampliamente a despertar el entusiasmo entre los mejores ingenieros de la época, quienes procedieron a experimentar intensivamente con el único propósito de convertir una simple curiosidad de laboratorio en una máquina práctica que estuviera destinada a ser una de las contribuciones principales en el progreso de la civilización. Barnett como Lebon Cecil, no pudo perfeccionar una máquina y fracaso al igual que muchos otros que trataron de resolver los problemas de índole técnica que implicaba la realización de tal idea.

En el año 1860, un inventor francés llamado Lenoir alcanzó un adelanto considerable en el perfeccionamiento de las máquinas de Lebon, Cecil y Barnett; pero tenía muy poco conocimiento sobre la disipación del calor, por lo tanto sus trabajos no dieron resultado.

Lenoir fracasó en sus esfuerzos de mantener su motor a una temperatura moderada de manera que pudiera funcionar sin recalentamiento, sino que tampoco logró aprovechar parte del calor generado por la combustión de los gases dentro del cilindro para mejorar la eficiencia del motor.

Figura 1. Historia del Automóvil. [1]



Otro ingeniero francés en 1862 llamado Beau Rochas patentó un motor de combustión interna cuyo funcionamiento se basaba en el “ciclo de cuatro tiempos”. No obstante que Rochas no construyó un modelo de su invento, las teorías de su patente eran lo suficientemente convincentes para poner en manifiesto su efectividad.

En las patentes de Rochas se puede resaltar los siguientes puntos:

- Alcanzar la mayor compresión de los gases, antes de la combustión.
- Obtener la mayor expansión de los gases durante la combustión, de modo que el pistón sea lanzado hacia abajo en el cilindro con el mayor impulso posible.
- Alcanzar la mayor velocidad del pistón dentro de ciertos límites prácticos, de manera que el pistón y por lo tanto el eje pueda permanecer en movimiento algún tiempo después de haberse aplicado la fuerza de la expansión de los gases.

El principio de funcionamiento del motor que tan detalladamente describió Beau de Rochas, es la utilizada en los motores de combustión interna con ciclos de cuatro tiempos. Gracias a los esfuerzos de dos ingenieros alemanes llamados Nicolaus August Otto y Eugen Langen quienes en la exposición de París de 1867 presentaron al público un motor de combustión interna cuyo principio de funcionamiento estaba basado en la teoría de Beau de Rochas. Por tal motivo el principio del ciclo de cuatro de tiempos, también se conoce con el nombre de “ciclo Otto”.

En el año de 1893 el ingeniero alemán Rudolf Diesel publicó un trabajo titulado Teoría y Construcción de un Motor Térmico Racional. Mediante la termodinámica se intentaba llegar a comprender las relaciones existentes entre el calor y el trabajo con el fin de aplicarlas luego en la construcción de convertidores de energía más eficaces, la teoría de Diesel se basaba en dos consideraciones fundamentales.

La primera consistía en el hecho de que cuando más se comprimía una determinada cantidad de gases, más aumentaba su temperatura y de manera análoga cuando se expandía disminuía la temperatura. Por ejemplo la temperatura de la mezcla es muy alta cuando es comprimida por el pistón en su carrera ascendente y alcanza su mínimo volumen y se enfría cuando el gas alcanza su máximo volumen.

La segunda consideración de Diesel se basaba que cuanto mayor fuese la diferencia entre las dos temperaturas del gas antes y después de la compresión mejor funcionaría el motor, la relación entre los dos volúmenes de gas en el cilindro antes y después de la compresión se denomina relación de compresión.

La idea racional de Diesel consistía en aumentar la eficacia del motor de combustión interna de Otto, aumentando su relación de compresión, pensaba construir un motor que

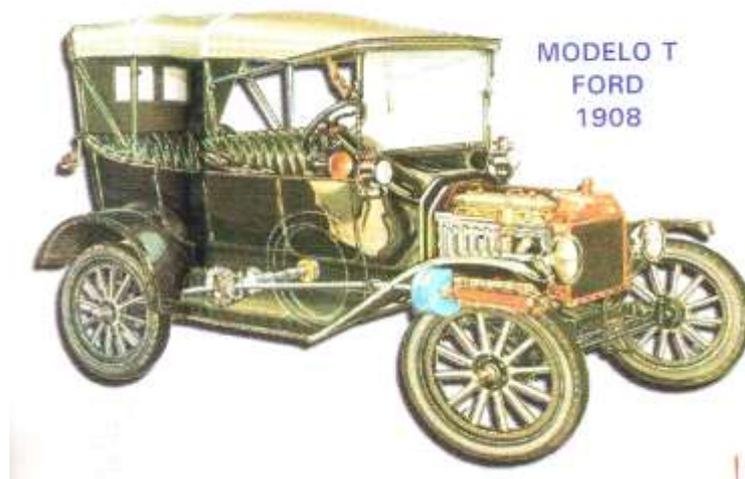
podría comprimir el aire hasta 16 veces de su volumen original; en este estado el aire alcanzaba una temperatura de 538°C.

Entonces se inyectaría directamente en el cilindro el carburante que debido a la alta temperatura se prendería espontáneamente. En los primeros modelos de motor Diesel quemaban polvos de carbón.

Después de todos los citados inventores y científicos, el motor de combustión interna, usando carburante derivados de petróleo, se expandió rápidamente y surgieron nuevos inventores que fueron perfeccionando los distintos elementos que componen un motor de combustión interna hasta la actualidad.

Henry Ford puede ser considerado como el creador de la industria del automóvil moderna. En 1908 inicio la producción en cadena del modelo T (TinLizzie) como se observa en la figura 2.

Figura 2. Modelo de un vehículo creado por Henry Ford T (TinLizzie). [1]



## 2.2 El automóvil y el ambiente.

La protección del ambiente es uno de los grandes retos actuales y, por ello, los fabricantes de automóviles tratan de construir sus productos de manera que causen una mínima agresión al entorno. En este sentido el desarrollo del catalizador fue un paso importante hacia el vehículo ecológico, reduciendo considerablemente el vertido de los gases tóxicos hacia el ambiente.

De otra parte, la aplicación de los sistemas de distribución variable en los motores

llamados de “combustión pobre”, han permitido disminuir notablemente el consumo de combustible, al tiempo que se rebajan también los índices de polución.

No obstante, la agresión al ambiente por parte de un automóvil no ha de cifrarse solamente en el vertido a la atmósfera de gases contaminantes, sino también en la utilización de materiales tóxicos en su fabricación y de otros de difícil reciclado o destrucción, cuando el automóvil ha terminado su vida útil y se destina a desguace.

Así, ocurre que en la actualidad, la mayoría de los fabricantes han suprimido productos como el amianto, utilizado en la fabricación de plaquetas de freno y discos de embrague, siendo sustituidos por recubrimientos semimetálicos, que además de ser muy ecológicos, son incluso más duraderos.

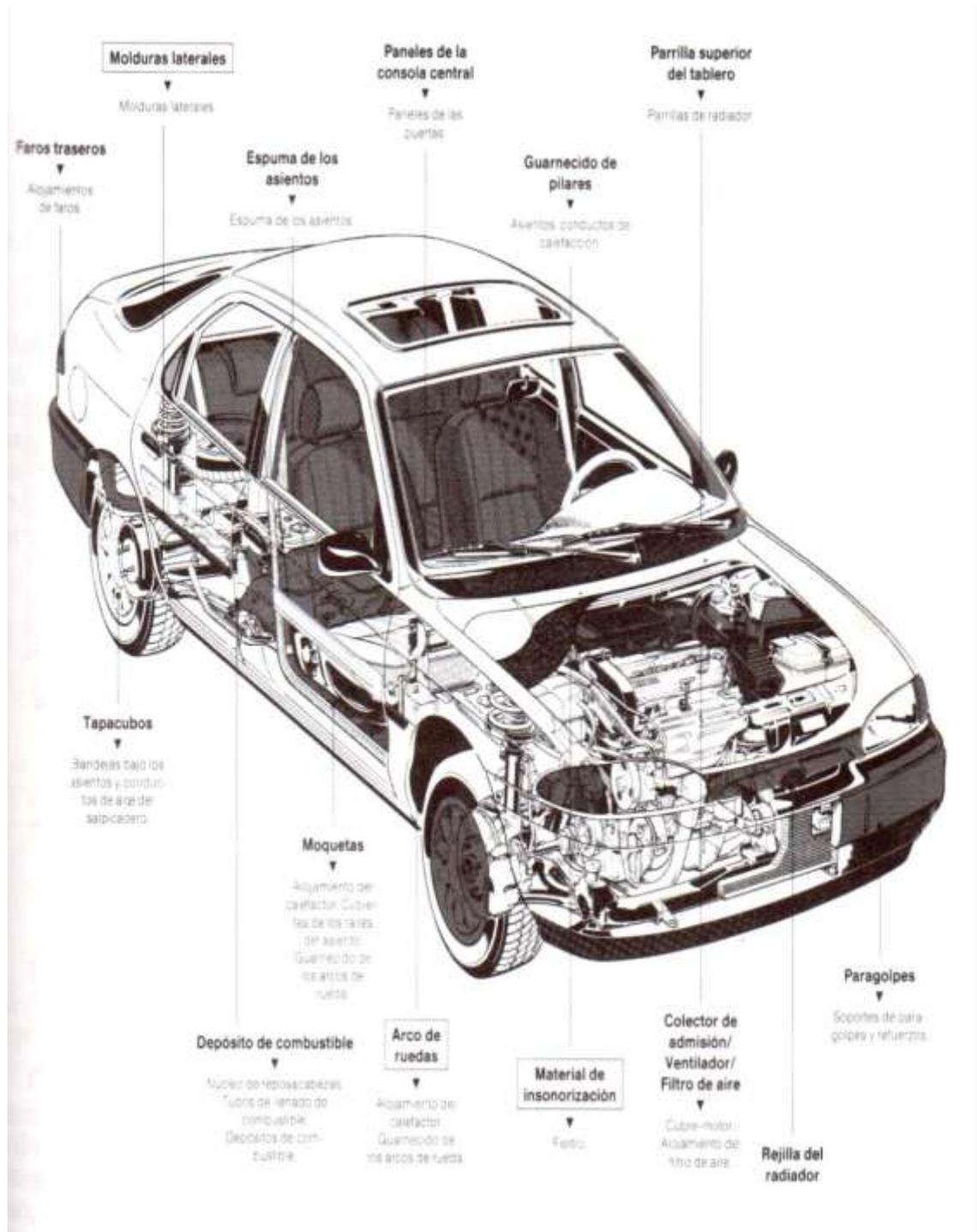
También se han eliminado los agentes espumantes con contenido de FCC (fluorclorurados) en asientos, tapicería y acolchados. Para proteger la capa de ozono, los sistemas de aire acondicionado han sustituido el típico gas freón por otro gas inocuo denominado R 134a, que no contiene cloro, del mismo modo, los procesos de fabricación se han adaptado de forma que se vierta a la atmósfera un mínimo de contaminantes, tratándose adecuadamente los gases y aguas vertidas.

Así, por ejemplo, está siendo suprimido el cadmio en pigmentos de pinturas o estabilizantes, por su condición de contaminante y se eliminan los restos de pintura con nitrógeno líquido, en lugar de disolventes perjudiciales para el ambiente.

Normalmente, un vehículo está compuesto de un 65% de metales, 15% de plástico, 5% de goma y el 15% restante de pequeñas cantidades de cristal, madera papel y tejidos. De estos componentes, algunos pueden utilizarse de nuevo de la misma manera, mientras que otros pueden volver a procesarse e incluirse en nuevos productos.

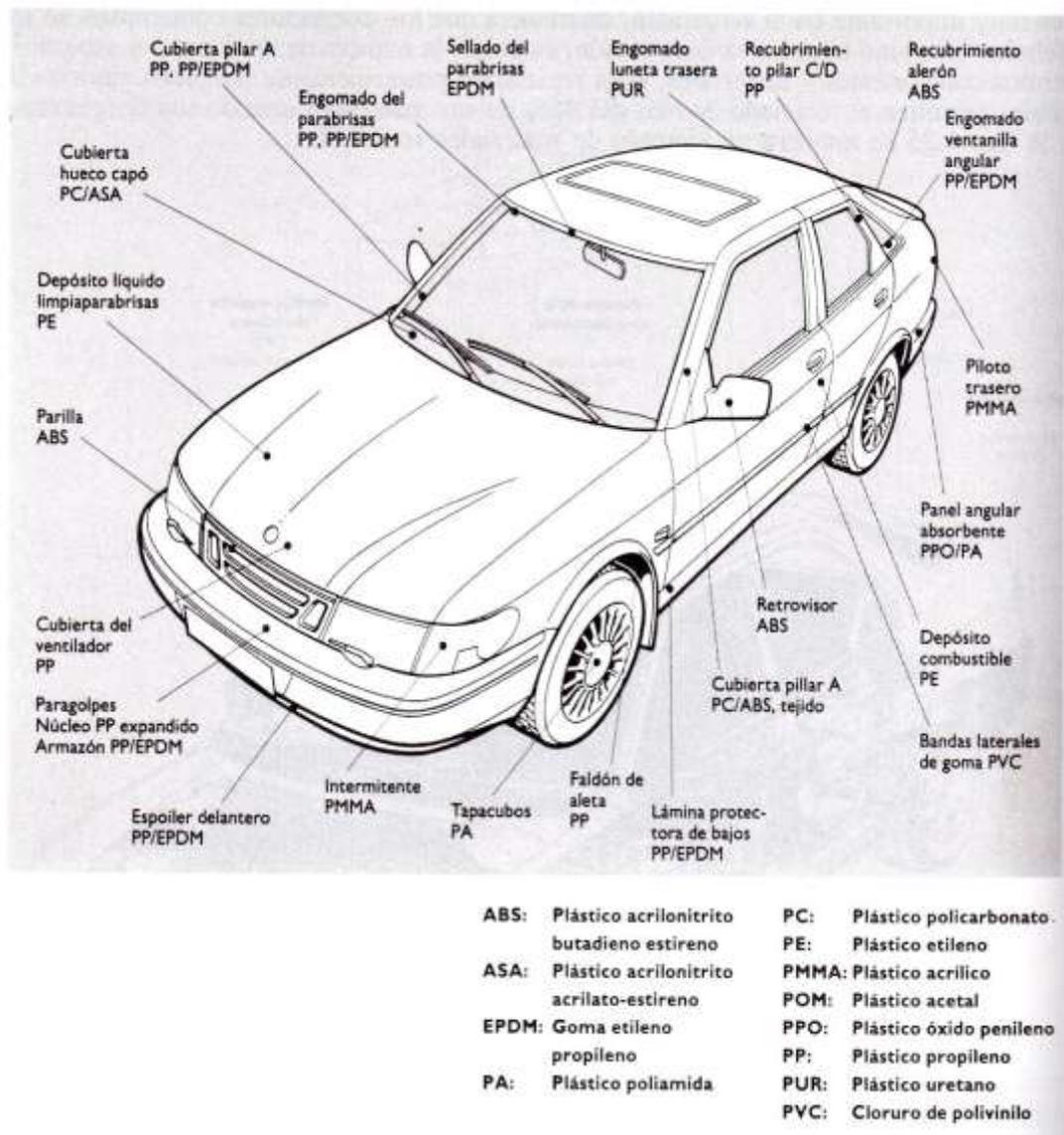
La cantidad de productos de un automóvil moderno que pueden ser reciclados, es una consideración técnica y económica muy importante en la actualidad, de manera que los diseñadores contemplan no solo la fabricación, sino también la destrucción. Es decir, la manera de desmontar y separar los distintos componentes y materiales, para reciclarlos posteriormente, algunos automóviles actuales permiten el reciclado de más de 85% de sus materiales cuando son desguazados.

Figura 3. Ejemplo de materiales reciclables. [2]



Para contribuir a la conservación de los recursos naturales y fomentar el reciclaje de los materiales utilizados, en algunos vehículos se marcan todas las piezas de plástico con códigos de identificación que facilitan su clasificación y reciclado.

Figura 4. Esquema de ubicación y clasificación de los distintos materiales plásticos utilizados en un vehículo actual. [2]



### Principio de funcionamiento en un motor a gasolina.

El principio de funcionamiento de un motor a gasolina ideado por Otto es el siguiente: En la primera fase llamada de admisión, la carga es aspirada hacia el interior de la cámara, provocando el descenso del pistón a lo largo del cilindro, durante esta fase la válvula de admisión permanece abierta y la de escape cerrada.

La fase de compresión se inicia cuando el pistón empieza a desplazarse hacia arriba, durante esta fase las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas por tal motivo la carga es comprimida hasta reducir su volumen.

Cuando toda la cámara es encerrada en la recámara o parte superior del cilindro, es encendida mediante una chispa eléctrica que salta entre los polos de una bujía y se inicia la fase de explosión, en la cual se forman gases muy calientes que se expansionan empujando el pistón hacia abajo a lo largo del cilindro, en esta fase las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas.

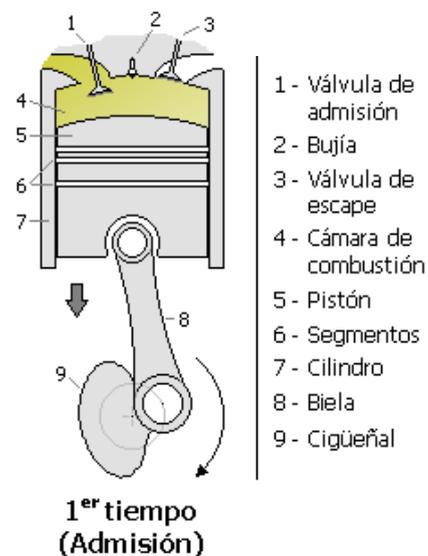
En la fase de escape la válvula de escape se abre y el pistón inicia su carrera ascendente empujando los gases residuales de la combustión hacia el exterior del cilindro. Otto construyó un motor de gasolina y comenzó su fabricación de escala industrial que giraba a 180 revoluciones por minuto (rpm).

### 2.3 Descripción del ciclo Otto.

Tiempo de admisión.-En este ciclo el pistón se desplaza desde el punto muerto superior (p.m.s) al punto muerto inferior (p.m.i), mientras la mezcla aire combustible es aspirada hacia el interior del cilindro a través de la válvula de admisión que permanece abierta.

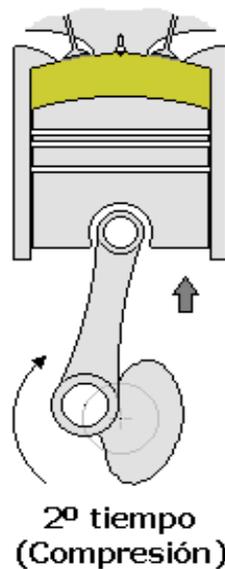
El llenado del cilindro se realiza a la presión atmosférica, a una atmosfera o lo que es lo mismo a  $1 \text{ kg/cm}^2$  a una temperatura reinante en el ambiente; no existe variación de presión una vez que el pistón alcanza el punto muerto inferior (p.m.i), cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior (p.m.i) el cilindro se encuentra lleno de la mezcla aire combustible.

Figura5. Representación gráfica del tiempo de admisión. [3]



Tiempo de compresión.-El pistón comienza su carrera ascendente hacia el punto muerto superior (p.m.s) se cierra la válvula de admisión mientras la de escape permanece cerrada la mezcla aire combustible es comprimida a un volumen mínimo entre el espacio libre (cámara de combustión) comprendido entre la culata y la cabeza del pistón. La presión sube a 10 bares aproximadamente mientras la temperatura oscila entre 280°C y 450°C al final de la compresión.

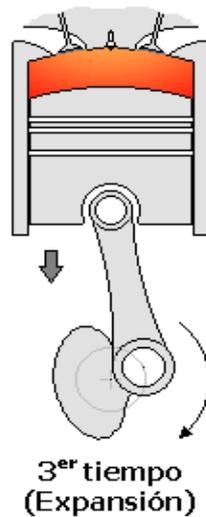
Figura6. Representación grafica del tiempo de compresión. [3]



Tiempo de expansión (potencia o explosión).- En los motores de gasolina en el instante que el pistón alcanza el punto más alto de su carrera ascendente y la mezcla ha sido totalmente comprimida, ocurre una chispa que salta entre los polos de la bujía, provocando el encendido de la mezcla. La inflamación en el cilindro no es súbita y violenta porque la mezcla se quema progresivamente, aunque es muy corto el tiempo la expansión de los gases también es progresiva y el pistón recibe una fuerza de empuje en vez de un golpe violento de explosión.

Por lo tanto resulta más efectivo producir una fuerza de empuje que un golpe violento. La acción de quemar progresivamente el combustible se denomina combustión, como la combustión se produce en el interior de los cilindros, estos motores se clasifican como motores de combustión interna. La presión sube considerablemente a 40 bar por lo tanto la temperatura también sube de entre 2100°C y 2300°C. El empuje del pistón hacia abajo durante el tiempo de expansión, hace girar el cigüeñal.

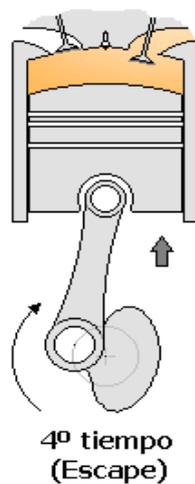
Figura 7. Representación gráfica del tiempo de expansión. [3]



Tiempo de escape.-El pistón sube hasta el punto muerto superior (p.m.s) y la mayor parte de los gases, todavía bajo presión, salen del cilindro hacia la atmósfera a través de la válvula de escape. La presión desciende hasta llegar a una atmósfera y la temperatura oscila entre los 800°C. La carrera ascendente del pistón cuando la válvula de escape está abierta, es un medio efectivo para expulsar del cilindro del motor los gases quemados.

Estos cuatro tiempos constituyen el ciclo de funcionamiento del motor. Puesto que para completar este ciclo se necesitan dos carreras de subida y dos carreras de bajada del pistón, cuando en total, se dice que el motor del automóvil es de ciclo de cuatro tiempos o también motor de cuatro tiempos.

Figura 8. Representación grafica del tiempo de escape. [3]



## 2.4 Motores con sistemas de carburación.

La carburación en los motores a gasolina consiste en realizar una mezcla aire y combustible que permita al motor funcionar en todas sus circunstancias. La mezcla aire - combustible adecuada a cada situación deberá permitir una combustión lo más perfecta posible por lo que es necesario intervenir en los siguientes aspectos:

Dosificación.-la dosificación perfecta es el resultado de una combustión completa del carburante con la aportación necesaria de oxígeno, está determinada por la aplicación de la ecuación química que define las proporciones de aire y gasolina para permitir la combustión. Se define la dosificación como la relación entre la cantidad de gasolina y la correspondiente cantidad de aire.

$$D = \text{masa gasolina/masa de aire} \quad (1)$$

Más allá de los límites donde la dosificación resulta demasiado rica o demasiado pobre la combustión resulta imposible.

Para obtener un rendimiento máximo se intenta extraer toda la energía contenida en cada partícula de gasolina siendo necesario un proceso de aire ( $D=1/18$ ); mientras que para obtener la máxima potencia se busca tener una propagación de la llama lo más rápida posible, siendo necesario entonces disponer de un exceso de gasolina ( $D=1/2.5$ ).

Diremos pues que para un motor a gasolina será necesario adoptar una solución de compromiso entre el rendimiento y la potencia.

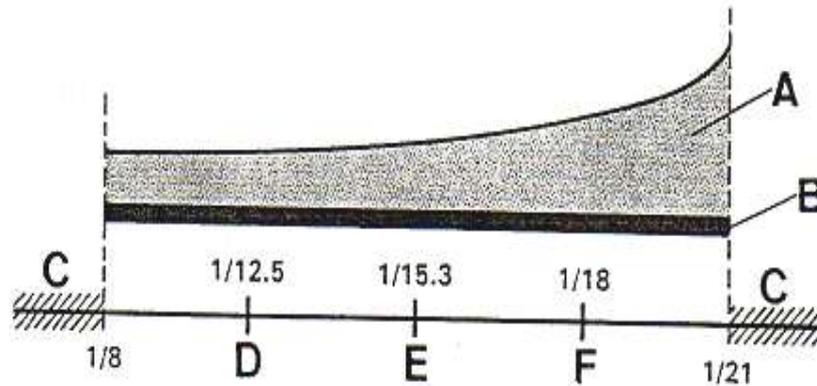
La influencia que tiene la dosificación en la potencia y el consumo se puede observar si se mantiene un motor a régimen y caudal de aire constante; partiendo del límite pobre de inflamabilidad e incrementando progresivamente la riqueza de la mezcla. El resultado es:

- Un aumento rápido de la potencia.
- Una estabilización de la potencia y que el enriquecimiento sea continuo.
- Una pérdida de potencia cada vez más acusada a medida que nos acercamos al límite de inflamabilidad por riqueza.

La curva de consumo específica muestra que el consumo mínimo donde el rendimiento

es máximo se obtiene con valores de potencia inferiores a la potencia máxima y con unos valores de riqueza también inferiores.

Figura 9. Particularidades de diferentes mezclas. [4]



Vaporización.-Para mezclar e inflamar la mezcla - gasolina es necesario que dos cuerpos tengan el mismo estado (gaseoso).

Para realizar la vaporización de un líquido podemos actuar sobre:

Figura 10. Vaporización. [4]



Temperatura: la vaporización de un líquido no se puede llevar a cabo sin la absorción de calor; resulta pues necesario realizar un aporte de calor llamado calor latente de vaporización.

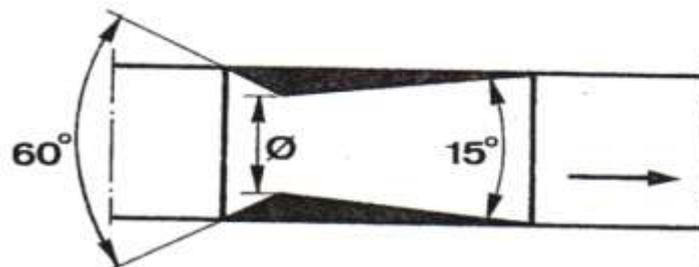
Figura 11. Vaporización por aporte de calor. [4]



Presión: Cuanto menor sea esta menor será la energía que deban tener las moléculas para pasar de estado líquido a gaseoso por lo tanto, mayor será la evaporación.

Para reducir la presión se utiliza un difusor (vénturi) donde hay una zona inicial de reducción de la sección y un posterior incremento que produce una depresión capaz de aspirar la gasolina a través de un tubo surtidor que desemboca en el difusor.

Figura 12. Difusor. [4]

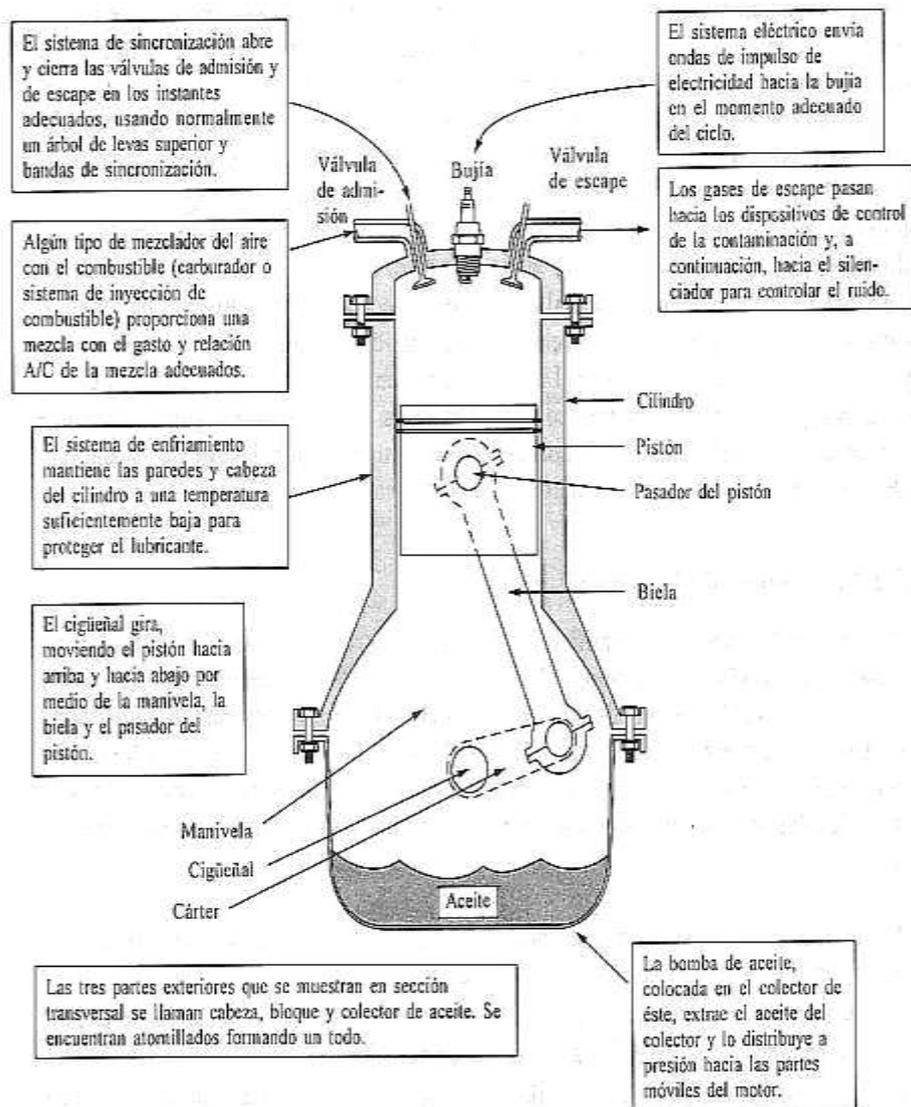


Superficie de evaporación: lógicamente para conseguir la evaporación es necesario aumentar la superficie de contacto de la gasolina con el aire y esto se consigue al chocar el aire aspirado por la admisión con la entrada de gasolina, consiguiendo su pulverización y con ello facilitando el proceso de evaporación.

Homogenización.- la mezcla contenida en los cilindros debe ser en todos los puntos de 1gr de gasolina por 15.3 gr de aire, de lo contrario se corre el riesgo de tener zonas ricas y zonas pobres dentro de la misma cámara de combustión llevando a distintas velocidades de progresión del frente de llamas y con ello teniendo una combustión incompleta.

Para evitar todos estos problemas hay que partir de una buena pulverización de la gasolina para que se mezcle con el aire exterior, pasando luego por los colectores donde deberá calentarse la mezcla y finalmente acceder a la cámara de combustión a través de las válvulas de combustión que crearán unas turbulencias necesarias para hacer una mezcla homogénea preparada para su combustión.

Figura 13. Esquema de un motor con sistema a carburación. [5]



## 2.5 Motores con sistema de inyección

Actualmente son muchos los sistemas de inyección a gasolina que aparecen instalados en los vehículos nuevos nacionales e importados, haciendo desaparecer de este modo el tradicional carburador mecánico.

Consiste en agregar gasolina a la corriente de aire de manera independiente a un sistema de alta presión que es gobernado en tiempo y cantidad de gasolina, ya sea por computador o por una bomba mecánica que hace los cálculos de las necesidades del motor, la inyección puede ser monopunto o multipunto.

La inyección electrónica es un sistema no accionado por el motor, comandado electrónicamente y que dosifica el combustible, controlando la mezcla aire-combustible en función necesidades inmediatas del motor, de una forma similar el encendido digital permite que el motor trabaje con su punto de encendido sincronizado con las varias condiciones de funcionamiento de este motor.

El propósito de la inyección es dar equilibrio de funcionamiento para el motor, a través de un rígido control de la mezcla aire gasolina y del ángulo de encendido en cualquier régimen de trabajo, proporcionando mayor desempeño menor consumo, facilidad de arranque en frío y a calor y principalmente menor emisión de gases contaminantes.

El constante aumento de la contaminación y como un gran porcentaje de los gases de escape de los motores de combustión interna, ha hecho que los fabricantes de automotores diseñen sistemas para que sus automóviles sean menos contaminantes.

Ventajas del motor de gasolina a inyección comparado con el carburador:

- Mejor adaptación del motor a las diferentes fases de funcionamiento: ralentí, carga parcial, plena carga, aceleración, desaceleración, cortes de inyección.
- Realización de un dosaje de la mezcla más preciso y mejor repartido.
- Automaticidad del funcionamiento a bajas temperaturas.
- Fácil de adaptar los elementos electrónicos del sistema a las diversas partes del motor.
- Aumenta la potencia del motor: del 2% al 15% con el sistema de inyección.
- La entrada de aire y la pulverización de la gasolina son más directas.
- El llenado de los cilindros es más grande (aumento del rendimiento volumétrico).
- La pulverización de la gasolina es más fina que la obtenida en un carburador.
- Se puede utilizar una mezcla más pobre.
- La combustión es más homogénea y más exacta.
- Mayor par motor a bajos regímenes.

- Disminución del consumo de combustible.
- Reducción de la contaminación por los gases de la postcombustión.
- Gran fiabilidad de los órganos electrónicos del sistema.

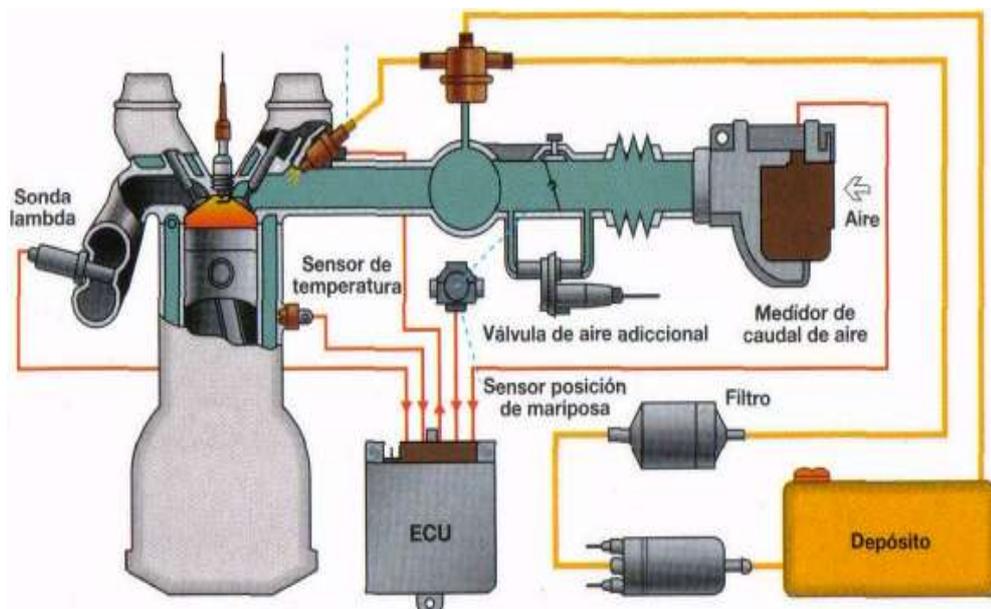
Los motores con inyección electrónica de gasolina se basa en la medición de ciertos parámetros (Sensores), como la cantidad o densidad de aire que ingresa al motor, la temperatura del mismo, la temperatura del motor en el cual está instalado, la cantidad de aceleración que implanta el conductor y otras más.

Estos parámetros son medidos para “informar” a una computadora (CONTROL), el cual los relaciona y logra enviar señales eléctricas de gran precisión a las válvulas eléctricas (ACTUADORES).

Estas válvulas electrónicas se han denominado “inyector”, ya que logran inyectar combustible con la apertura de la válvula que se mantiene cerrada a una cierta cantidad de presión de alimentación, el combustible finamente pulverizado se mezcla con el aire aspirado por el motor y esta mezcla ideal se combustiona dentro de la cámara.

La perfección de las señales que lleguen a la computadora depende la calidad de la mezcla que ingrese al motor, por lo que cada constructor y diseñador ha utilizado la mayor cantidad de elementos que se supone son los más importantes para tenerlos en cuenta.

Figura 14. Esquema de un sistema de inyección electrónico a gasolina. [6]



## 2.6 Relación aire-combustible

Es la proporción de aire que se necesita para combustionar por completo cierta cantidad de combustible, entonces diríamos que la relación entre la masa de aire y la masa de combustible es lo que llamaremos relación aire-combustible (RAC).

La proporción aire/combustible necesaria teóricamente es de 14.7:1; es decir que por cada parte de gasolina en peso se requieren 14.7 partes de aire, para lograr una correcta combustión con el mínimo de contaminantes, lo que viene a significar que cada litro de gasolina necesita para su combustión completa 10.000 litros de aire.

La relación existente entre el dosificado real y el correspondiente a la relación aire/combustible teórico, determina la relación aire/combustible por un coeficiente llamado lambda ( $\lambda$ ), también conocido como coeficiente de aire, si la cantidad de aire resulta excesiva o insuficiente la relación aire/combustible lo determina el factor lambda ( $\lambda$ ).

Figura 15. Relación aire-combustible teórico. [7]

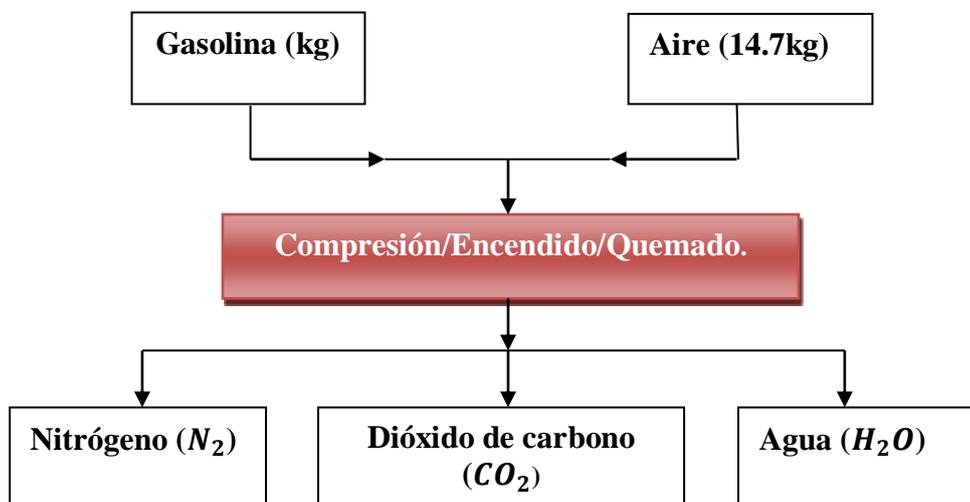
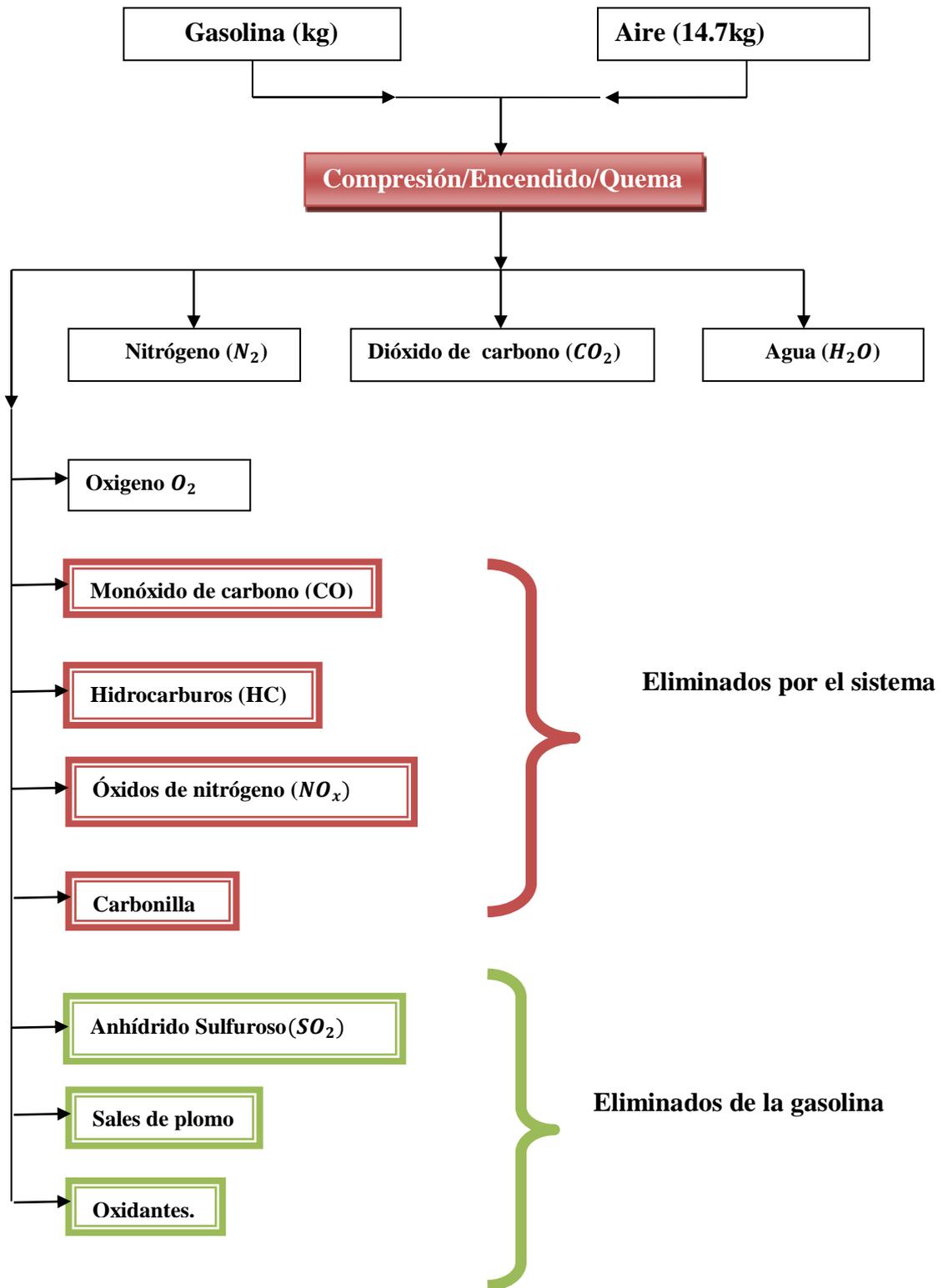


Figura 16. Relación aire-combustible práctico. [7]



## 2.7 Mezcla estequiometria.

La masa de aire y la masa de combustible necesaria para una combustión ideal, tendremos una masa llamada de estequiometria.

$$\frac{\text{MASA DE AIRE REAL ADMITIDA}}{\text{MASA DE AIRE QUE DEBERIA ADMITIRSE}} = 1 \quad (2)$$

Cuando la masa de aire admitida es = masa de aire que debería admitirse  
= 1

En este caso tenemos la mezcla **Estequiométrica Ideal**.

La relación estequiométrica varía por el tipo de combustible.

Tabla 1. Variación de la relación estequiométrica de acuerdo al tipo de combustible.

<b>Combustible.</b>	<b>Relación-aire-combustible Estequiometria.</b>	
Gasolina.	14.7/1	kg/kg
Alcohol (etanol).	9.0/1	kg/kg
Gasolina (22 % de etanol).	13.3/1	kg/kg
Diesel.	15.2/1	kg/kg
Metanol.	6.4/1	kg/kg
Propano.	15.6/1	kg/kg
Butano.	15.4/1	kg/kg
Metano.	17.2/1	kg/kg
GLP	15.5/1	kg/kg
Monóxido de carbono.	2.5/1	kg/kg
Queroseno.	14.5/1	kg/kg
Hidrogeno.	34.0/1	kg/kg
Éter.	7.7/1	kg/kg

### 2.6.1 Mezcla rica.

Cuando la relación aire combustible es menor a la estequiométrica o ideal tendremos mezcla rica, lo que significa que hay un exceso de combustible para la cantidad de aire existente, por lo que una parte de combustible no podrá quemarse en su totalidad y saldrá expulsado de los cilindros por el tubo de escape y hacia el ambiente como hidrocarburos  $H_xC_y$  y otra parte se quemara parcialmente produciendo monóxido de carbono (CO).

$$\frac{\text{MASA DE AIRE REAL ADMITIDA}}{\text{MASA DE AIRE IDEAL QUE DEBERIA ADMITIRSE}}$$

Cuando la masa de aire admitida es  $<$  masa de aire que debería admitirse  
 $< 1$

En este caso tenemos la mezcla **RICA**.

La consecuencia de tener mezcla rica es que hay un alto consumo de combustible bajo rendimiento, alta velocidad del frente de llama y gran emanación de gases.

### 2.6.2 Mezcla pobre.

Si la relación aire combustible es menor a la ideal entonces tendremos una mezcla pobre, lo que significa que hay una cantidad de aire excesiva lo que trae como consecuencia dificultad en el encendido por lo que es necesario sistemas de encendido electrónico que prolonguen más la chispa, longitud y alto voltaje para que puedan inflamar este tipo de mezcla.

$$\frac{\text{MASA DE AIRE REAL ADMITIDA}}{\text{MASA DE AIRE IDEAL QUE DEBERÍA ADMITIRSE}}$$

Cuando la masa de aire admitida es  $>$  masa de aire que debería admitirse  
 $> 1$

En este caso tenemos la mezcla **POBRE**.

Las consecuencias de tener una mezcla pobre es pérdida de potencia, sobrecalentamiento, gran emisión de gases, autoencendido, mayor desgaste del motor, baja velocidad del frente de llama.

## 2.7 ORIGEN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

La energía química contenida en el combustible, cuando quemada es liberada en forma de calor produciendo trabajo, para que el combustible se quemara es necesario que exista oxígeno (aire), y ese porcentaje de aire admitido introducido varía de acuerdo a las necesidades del motor y al tipo de combustible.

Cuando la quema es completa, todo el carbono (C) presente en el combustible, reacciona con el oxígeno formando dióxido de carbono  $CO_2$ ; todo el hidrógeno (H) presente en el combustible, también reacciona con el oxígeno ( $O_2$ ) formando vapor de agua  $H_2O$ ; y finalmente todo el hidrógeno ( $H_2$ ) existente en el aire admitido, no participa en la reacción siendo expelido de la misma manera.

Tabla 2. Origen y efectos de los gases contaminantes.

CONTAMINANTE.	ORIGEN.	EFFECTOS.
CO	Combustión incompleta.	Disminuye la absorción del oxígeno por células rojas, afecta la percepción y la capacidad de pensar, disminuye los reflejos y puede causar inconsciencia. Afecta el crecimiento fetal en mujeres embarazadas.
HC	Combustión incompleta o evaporación.	Irritación de los ojos, cansancio y tendencia a toser. Puede tener efecto carcinógeno. Percusiones de smog fotoquímico.
Partículas (hollín)	Combustión incompleta.	Puede iniciar enfermedades respiratorias (afectando a niños y ancianos) y provocar cáncer en los pulmones.
$NO_x$	Altas temperaturas.	Irrita los ojos, nariz, garganta y pulmones y puede causar dolores de cabeza.
$SO_2$	Contenido de azufre en la gasolina.	Irrita las membranas del sistema respiratorio. Daños a la vegetación.

## 2.8 GASES PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por nitrógeno, Oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), vapor de agua e hidrógeno. Los segundos o contaminantes están formados, fundamentalmente, por el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y plomo.

**Inofensivos.**-El Oxígeno es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%. 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. 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.

**Contaminantes.**-Entre ellos los más importantes son el CO (monóxido de carbono), Hidrocarburos no quemados (HC), y bajo ciertas condiciones  $NO_x$  (óxidos de Nitrógeno).

Los principales gases producidos por la combustión de la mezcla aire-combustible son:

Tabla 3. Gases producidos en la combustión.

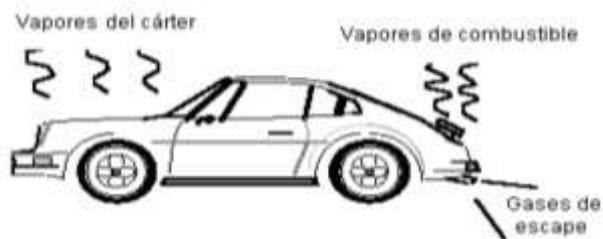
$H_2O$	Vapor de agua.
$CO_2$	Dióxido de carbono.
$N_2$	Nitrógeno.
$CO$	Monóxido de carbono.
$H_xC_y$	Hidrocarburos.
$NO_x$	Óxido de nitrógeno, dióxido de.....etc.
$H_2$	Hidrogeno.
$CH_4$	Metano.
$SO_x$	Óxido de azufre, dióxido.....etc.
$O_2$	Oxígeno.

El resultado del proceso de combustión del motor se obtiene diversos gases y de estos gases los más contaminantes son:

Tabla 4. Principales gases que contaminan el ambiente.

Monóxido de carbono:	CO
Hidrocarburos:	$H_xC_y$
Oxido de nitrógeno, dióxido de.....etc.	$NO_x$

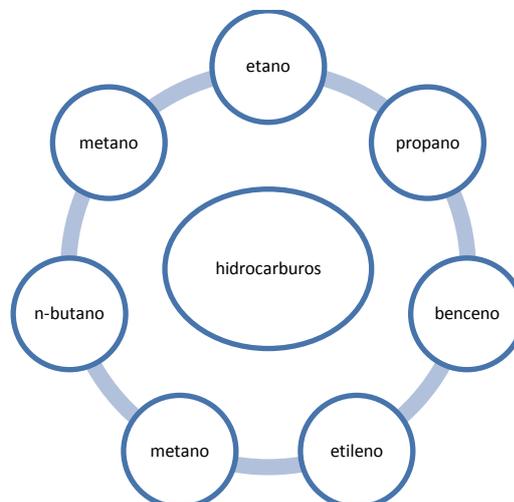
Figura 17. Gases contaminantes producidos por un vehículo.



### 2.8.1 Hidrocarburos

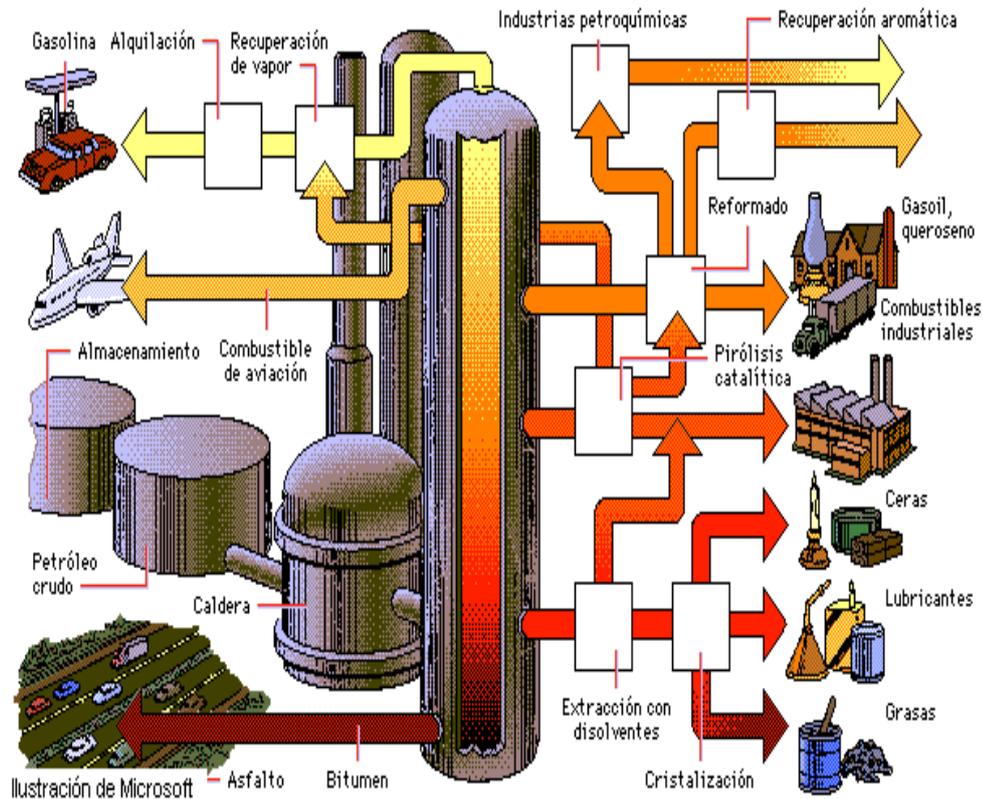
El principal gas de estas características que poluciona la atmósfera es el metano (CH<sub>4</sub>) que representa el 85%. Después del metano se observa una concentración importante de etano, n-butano, etileno, tolueno, propano, isopentano, acetileno, n-pentano y benceno, mientras que elementos como el propadieno, cis-2-buteno, cis-2-penteno, trans-2-buteno y metilacetileno, están en concentraciones mucho más reducidas.

Figura 18. Componentes de los hidrocarburos. [8]



Los hidrocarburos presentan, en general, una baja toxicidad, el problema principal que tienen es la reactividad fotoquímica en presencia de la luz solar para dar compuestos oxidados.

Figura 19. Origen y aplicación de los hidrocarburos. [9]

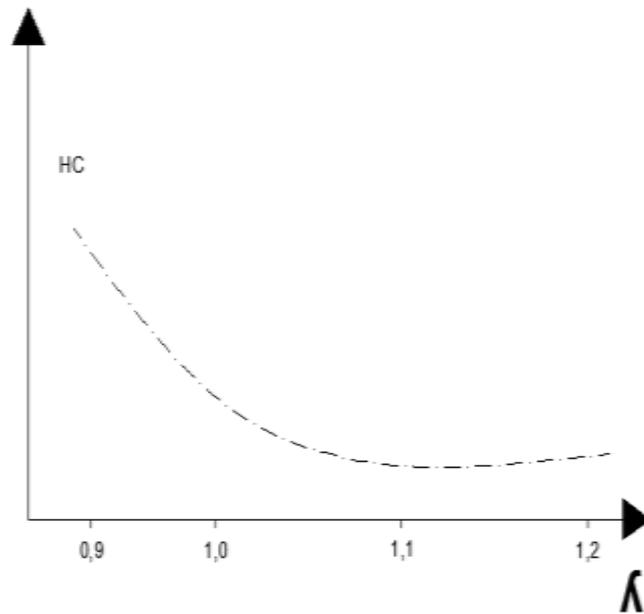


Esta clase de partículas está hecha de partículas que no fueron parte de la combustión o lo fueron de forma parcial, y es el mayor contribuyente a lo que se le conoce como smog de las ciudades así como es reconocido que es altamente tóxico para la salud humana, provocando un olor desagradable irritación a los ojos.

La principal molestias de estas reacciones químicas es que son nocivas a las plantas. El hidrocarburo es un gas pobre en oxígeno y por eso, cuanto mayor sea la relación aire-combustible menor será el porcentaje expelido en los gases de combustión.

El valor de la concentración de  $H_xC_y$  en los gases de descarga es máximo cuando el motor funciona con fuerte depresión en el colector de depresión, es decir en desaceleración. Como podemos observar en la gráfica.

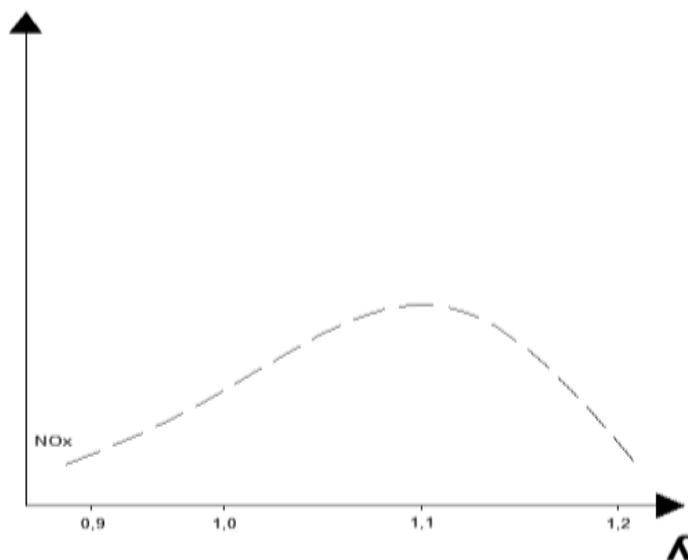
Figura 20. Proporción de  $H_xC_y$  en función de la mezcla. [10]



### 2.8.2 Óxidos de nitrógeno

Un factor que contribuye para el aumento del  $NO_x$  es la temperatura de la combustión que cuanto mayor sea mayor será el tener de  $NO_x$  eliminado en la descarga, como la temperatura de la cámara varía con el coeficiente de aire y también con el ángulo de encendido podemos afirmar que la relación aire combustible y el ángulo de encendido son factores que influyen en la formación de  $NO_x$ .

Figura 21. Proporción de  $NO_x$  en función de la mezcla. [10]



Los óxidos de nitrógeno incluyen los siguientes compuestos: óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico ( $NO$ ), trióxido de nitrógeno ( $NO_3$ ), sesquióxido de nitrógeno ( $N_2O_3$ ), tetraóxido de nitrógeno ( $N_2O_4$ ) y pentaóxido de nitrógeno ( $N_2O_5$ ), también pueden encontrarse en el aire los correspondientes ácidos: el nítrico ( $HNO_3$ ) y el nitroso ( $HN_2$ ).

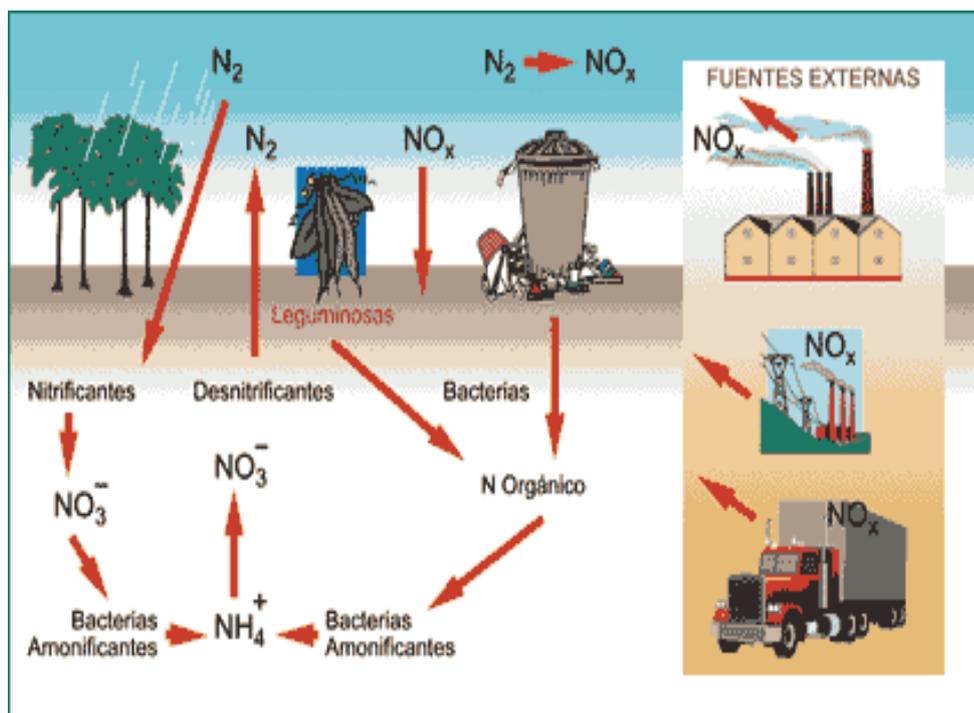
Son los tres primeros los que se encuentran en cantidades apreciables. El  $N_2O$  es incoloro y no es tóxico, la mayor fuente es debida a la actividad biológica en el suelo y posiblemente en los océanos.

El  $NO$  es producido por acción biológica y en los procesos de combustión. Es oxidado por acción del ozono para producir  $NO_2$  y el tiempo de residencia es de solo 5 días. El  $NO_2$  es uno de los contaminantes más peligrosos, en primer lugar por su carácter irritante y corrosivo y, en segundo lugar, porque se descompone por medio de la luz solar según la reacción:



La formación de oxígeno atómico, que es muy reactivo, convierte al oxígeno en ozono.

Figura 22. Fuentes de óxidos de nitrógeno. [11]



Los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) no son tóxicos, pero presentan el inconveniente de reaccionar con los rayos ultravioletas del sol, formando ácido nítrico, que origina el fenómeno llamado “smogfotoquímico” que produce irritaciones en los ojos haciéndolos lagrimear.

### 2.8.3 Monóxidos de carbono.

El monóxido de carbono (CO) es altamente tóxico debido a su gran compatibilidad con la hemoglobina de la sangre reduciendo la oxigenación de los tejidos celulares, si la concentración de carboxihemoglobina en la sangre alcanzara un 50% el cuerpo humano no consigue más asimilar el oxígeno, ocasionando la asfixia y la muerte.

Figura 23. Daños en las personas por el CO.



El monóxido de carbono se elimina de la atmósfera por oxidación de los radicales OH transformándose en dióxido de carbono, este hecho hace que la concentración de CO se mantenga constante. Los niveles permitidos en la atmósfera de CO están acorde con los índices de calidad del aire.

Tabla 5. Índice de calidad del aire.

Valores AQI	Descripción de la calidad de aire	Problemas que causa a la salud
0-50	Buena	Ninguno
51-100	Moderada	Ninguno

<b>Valores AQI</b>	<b>Descripción de la calidad de aire</b>	<b>Problemas que causa a la salud</b>
101-150	Insalubre para grupos sensibles.	Personas con enfermedades cardiovasculares como angina. Deben limitar esforzarse.
151-200	Insalubre	Personas con enfermedades cardiovasculares como angina. Deben limitar esforzarse fuertemente y evitar las fuentes de CO.
201-300	Muy insalubre	Personas con enfermedades cardiovasculares como angina. Evitar las fuentes de CO como el tráfico pesado de automóviles.
301-500	Peligroso	Personas con enfermedades cardiovasculares. Evitar las fuentes de CO como el tráfico pesado de automóviles.

Las fuentes de contaminación por el CO son varias pero la principal es la industria automotriz.

Tabla 6. Fuentes que producen el CO.

Objetos con motores: Vehículos, autobuses, trenes, podadoras de césped, automóviles para la nieve.	Plantas eléctricas que utilizan petróleo, gas o carbón, incineradores de basura.	Incendios forestales.
60% del CO a nivel nacional hasta el 95% en las ciudades.		

Tabla 7. Comparación del CO con otros contaminantes.

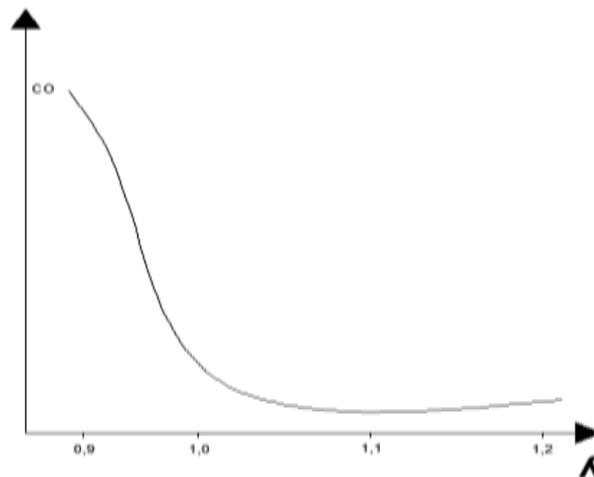
Compuestos	Fuentes principales	C producido	Concentración típica		Tiempo de vida	sumideros
			Natural	contaminante		
Dióxido de carbono. (CO <sub>2</sub> )	Océano, biosfera, Combustibles fósiles.	7,8 x 10 <sup>4</sup>	350 ppmv	380 ppmv	500-200 años	Océano
Monóxido de carbono.	Quema de biomasa, transporte, Fotoquímica	660	< 50 ppbv	150-200 ppmv	1-2 meses	Oxidación a CO <sub>2</sub>
Metano. CH <sub>4</sub>	Animales, vegetación en putrefacción Humedades.	610	1650 pptv	>1800 pptv	10 años	Oxidación a CO, suelos.
Hidrocarburos (no metano). (NMHC)	Vegetación, Origen humano	Var.	Few ppv	var	var	Reacciones fotoquímicas

Partículas de carbono orgánico. (POC)	Fotoquímica secundaria	Pequeña	0,1μ g/m <sup>3</sup>	>2μg/m <sup>3</sup>	1 semana	Deposición húmeda y seca
Elementos de carbono.(EC)	Quema de biomasa, origen humano.	Pequeña	0,02μ g/m <sup>3</sup>	>1μg/m <sup>3</sup>	1 semana	Deposición húmeda y seca

El monóxido de carbono (CO) es un gas pobre en oxígeno, por tanto cuanto mayor sea la cantidad de oxígeno contenida en la mezcla, menor será el porcentaje de CO expelido en la descarga.

Otro factor que contribuye para la disminución del porcentaje de CO es la homogeneidad de la mezcla, cuanto más homogénea sea la mezcla aire-combustible menor será el porcentaje eliminado de CO.

Figura 24. Proporción de CO en función de la mezcla. [10]



#### 2.8.4 Dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>).

Es un gas incoloro y no combustible, producidos al quemarse los combustibles compuestos de carbono. Este gas es el responsable de reducir el estrato de la atmosfera que sirve de protección contra los rayos U.V.

Las emisiones del dióxido de carbono son un tema de mayor preocupación dentro de todo el tema del calentamiento global puesto que es un gas que produce efecto invernadero, cada vez más común.

Figura 25. El  $CO_2$  Principal causante del efecto invernadero. [12]



### El sistema de escape

El sistema de escape de gases quemados en un motor de combustión interna tiene la misión de canalizar la salida de los gases producidos en la combustión, desde la culata hacia el exterior de vehículo.

Otra función importante del sistema es la de reducir el ruido producido por los gases de escape debido a las ondas de presión que se generan en el flujo de gases, el sistema de gases de escape es eventualmente considerado un dispositivo de seguridad porque transporta gases quemados hacia un extremo justo detrás del compartimiento de pasajeros para liberarse al aire libre.

El sistema de escape influye directamente sobre el funcionamiento del motor. Si es demasiado libre, el motor aumenta su potencia (el cilindro se vacía mejor después de cada explosión), pero se calienta aún más y aumenta el consumo de combustible. Si está demasiado obstruido, el motor denota falta de potencia, en los motores de dos tiempos, el tubo de distensión permite mejorar a la vez el vaciado del cilindro y la compresión.

En vehículos sin control de emisiones, el sistema de escape consta de los siguientes elementos:

- Colector de escape.
- Silenciador.
- Conductos de evacuación.
- Sujetadores de la tubería.

En cambio los vehículos equipados con sistemas de control de emisiones constan de los

siguientes elementos:

- Colector de escape.
- Conductos de evacuación.
- Convertidor catalítico.
- Silenciadores.
- Sujetadores de la tubería.

Figura 26. Sistema de escape. [13]



### **Múltiple de escape.**

El colector de escape es un complejo de tuberías encargado de conducir el aire quemado que sale del interior de los cilindros y canalizarlo hacia una tubería larga que se dirige hacia la parte posterior del vehículo, el colector de escape se ubica hacia las cabezas de los cilindros a un costado del cabezote y cuenta con entradas por donde circulan los gases quemados que deben ser trasladados hacia el exterior.

El colector está diseñado con suaves curvas y tiene ángulos precisos que ayudan a evitar contrapresiones dentro del sistema, mejorando así la salida de los gases. La disposición y forma de los colectores varía según el diseño de los fabricantes para cada motor específico, en los motores que funcionen a altas revoluciones suelen montarse colectores especiales denominados “header” que está formado por tubos independientes de igual diámetro y del mismo largo.

La función del header es la de expulsar con mayor velocidad los gases de escape, este es un diseño que permite una optimización del funcionamiento del motor cuando trabaja en altas revoluciones, el colector se fabrica en fundición de hierro para que soporte las altas temperaturas de los gases de escape.

Figura 27. Esquema de un colector de gases de escape. [14]



### **Cañerías de evacuación de los gases de escape**

Los conductos de evacuación dentro del sistema de escape se encargan de conducir los gases desde el colector hasta la parte posterior del vehículo. Debido a las altas temperaturas a las que salen los gases, al apagar un motor y llegar a enfriarse todo el sistema, dentro del escape se produce la condensación de los vapores, esto luego se transforma en agua, lo que causa posteriormente la oxidación, por esta razón los conductos son fabricados de acero inoxidable con el fin de evitar oxidación, ya que cualquier perforación produce altos niveles de ruido en el sistema de escape.

En vehículos equipados con sistemas de inyección electrónica, y cuyo sistema de escape consta de un sensor de oxígeno que envía señales al ECM (módulo de control electrónico) para realizar correcciones de mezcla aire combustible, pueden presentar problemas de alto consumo de combustible cuando existen perforaciones en los conductos del sistema de escape y como consecuencia directa aumentan la emisiones contaminantes en los vehículos.

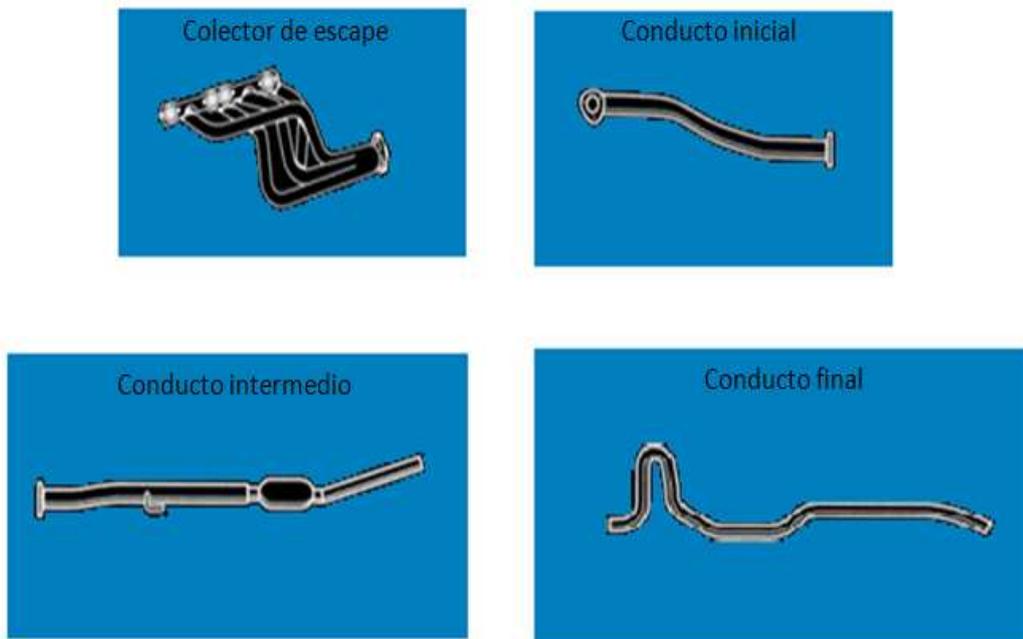
Dentro del sistema de escape se encuentran los siguientes tipos de conductos:

- Conducto inicial: transporta los gases y el vapor recolectados del múltiple o colector

del escape a otro componente ubicado corriente abajo en el sistema de escape.

- Conducto intermedio: conecta el tubo de escape con el silenciador o el resonador. Su propósito es llevar los gases al silenciador para silenciarlos o al resonador para silenciarlos adicionalmente. No todos los automóviles tienen tubos intermedios. Este componente también se puede denominar tubo extensor o tubo conector.
- Conducto final: completa la tarea de diseño de un sistema de escape, dirigiendo los gases de escape al exterior del vehículo hasta un punto en que no pueden entrar en el compartimiento de pasajeros. Generalmente, un conducto de escape final mide más de un 35cm. de longitud. El conducto de escape final es el último elemento del sistema de escape.

Figura 28. Esquema de diferentes conductos de evacuación de gases escape.[15]



### **Convertidor catalítico.**

Debido a la necesidad que tenemos de cuidar nuestro ambiente se van tomando medidas de control en todas las partes involucradas en actividades que producen contaminación. La industria automotriz al estar entre las actividades que más contribuyen a la contaminación del ambiente, ha ido aportando cada vez más al control de emisiones producidas por la combustión.

Los catalizadores al inicio fueron diseñados para que pasara a través de él solo la mitad

de los gases de escape. La otra mitad pasaba directamente a la atmósfera. Este sistema se discontinuó en 1979, debido a los avances en el desarrollo de sistemas de control de emisiones por parte de los fabricantes de vehículos.

Los catalizadores pueden ser de tres tipos:

**Oxidante de una sola vía:** contiene un solo monolito cerámico que permite la oxidación del CO y de los hidrocarburos. El monolito contiene como elementos activos el platino y el paladio, elementos que ayudan a producir la oxidación.

Figura 29. Catalizador de una vía. [16]



**De dos vías (reductor, de doble cuerpo):** es un doble catalizador de oxidación con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos del escape reduciendo los NOx. El segundo lo hace sobre los gases empobrecidos gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el CO y los hidrocarburos.

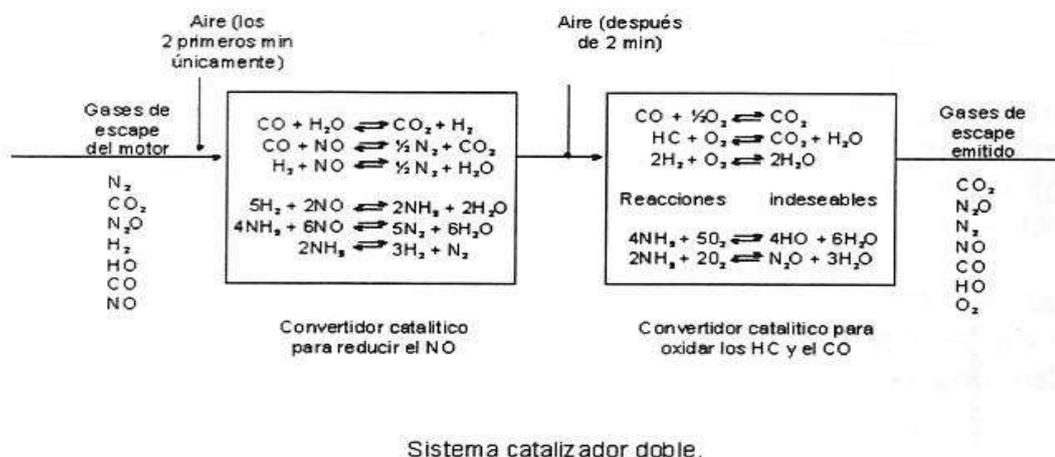


Figura 30. Catalizador de dos vías. [17]



**De tres vías (TWC):** Es el más complejo y evolucionado. Elimina los tres polucionantes principales, es decir, monóxido de carbono, hidrocarburos y oxido de nitrógeno (CO, HC y NOx), produciéndose las reacciones de oxidación y reducción simultáneamente.

Su mayor eficacia depende de forma importante de la mezcla de los gases en la admisión. La mezcla se debe mantener muy próxima a un valor estequiométrico que se considera óptimo para  $\lambda=1$  (lambda=1).

Por ello, se emplea un dispositivo electrónico de control y medida permanente de la cantidad de oxígeno en los gases de escape, mediante la llamada sonda lambda, que

efectúa correcciones constantes sobre la mezcla inicial de aire y combustible según el valor de la concentración de oxígeno medida en el escape.

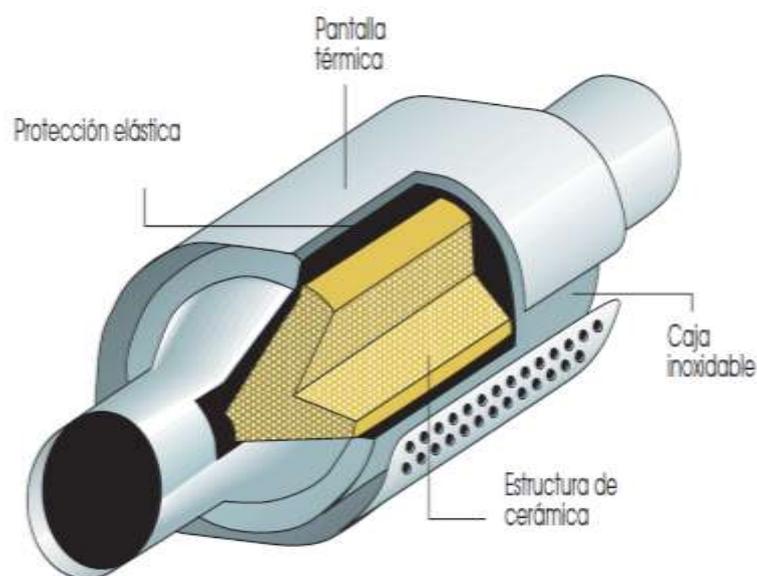
En su interior contiene un soporte cerámico o monolito, de forma cilíndrica, con una estructura de múltiples celdillas en forma de panal, con una densidad de éstas de aproximadamente 450 celdillas por cada pulgada cuadrada (unas 70 por centímetro cuadrado).

Su superficie se encuentra impregnada 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, internamente el monolito dispone de una tela metálica que evita daños por vibraciones y de un aislante cerámico que evita la pérdida de calor en períodos breves de motor apagado.

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 inocuos no polucionantes reduciendo la proporción en la emisión de éstos.

Figura 31. Catalizador de tres vías (TWC). [18]



La temperatura óptima de funcionamiento de un catalizador está comprendida entre los 400 a 700 grados centígrados, a temperaturas menores a los 400 grados centígrados el catalizador no entra en funcionamiento y como consecuencia se tienen altos niveles de emisiones durante el arranque en frío ya que el motor está funcionando con una mezcla demasiado rica (exceso de combustible) hasta alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento del motor (92 °C). Esto tarda aproximadamente unos cinco minutos.

Para contrarrestar este tiempo muerto actualmente los catalizadores incorporan un sistema adicional de precalentamiento, con esto se logra que el catalizador comience a trabajar casi inmediatamente después del arranque en frío, el tiempo de activación del catalizador se reduce a unos 90 segundos, lo que permite que el sistema comience con la reducción de gases mucho más rápido.

### **Sistema postcombustión**

Muchos de los hidrocarburos que permanecen en el escape se pueden limpiar bien.

El primer método utilizado fue bombear dentro del múltiple de escape aire nuevo que suministra oxígeno adicional para ayudar a oxidar los HC y CO remanentes de los gases de escape.

Es un método que no afecta la potencia, ya que solo necesita una pequeña cantidad de potencia para operar la bomba de inyección de aire.

La bomba de inyección de aire es impulsada por una correa (banda) la cual mete el aire a través de un filtro y lo bombea a través de una válvula de desvío, una válvula de retención y tubos de inyección.

En los sistemas de reactor por aire, el aire es dirigido al múltiple de escape cuando el motor está frío y trabajando con una mezcla rica. El aire ayuda a completar la combustión de los HC y los CO que permanecen en gases del escape.

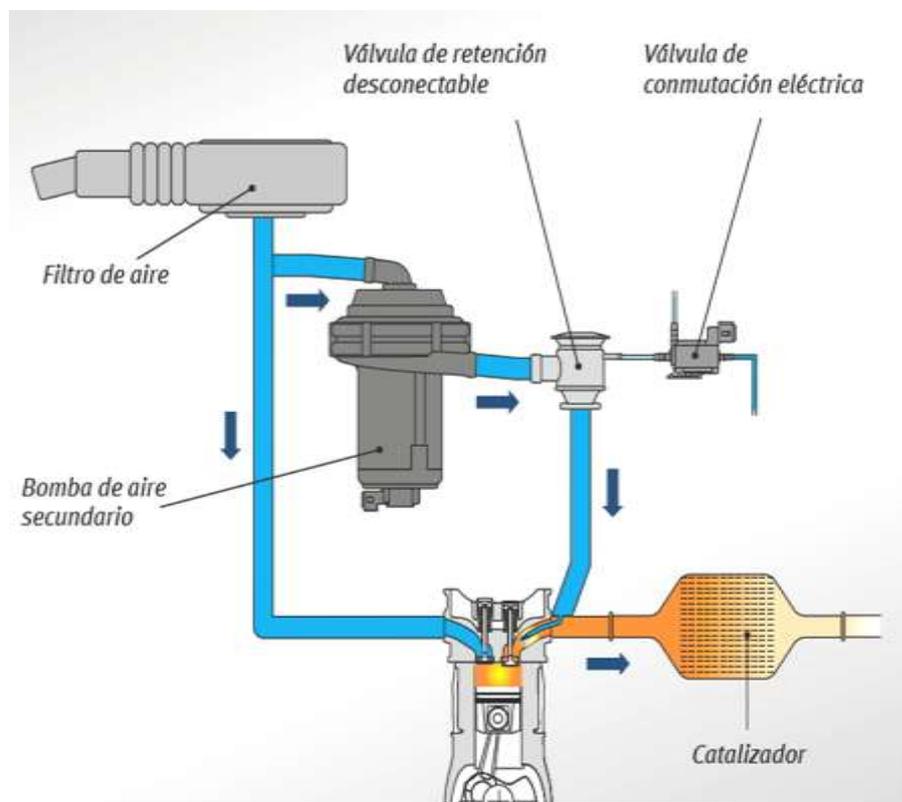
El aire agregado por esta combustión calienta el convertidor catalítico de manera que comienza a operar más rápido para hacer mínimas las emisiones.

La válvula de alivio abre altas revoluciones el motor, como sucede en las válvulas operadas mecánicamente, también descarga aire en el múltiple de escape cuando el motor tiene desaceleración.

La válvula de desvío manejada por computador es operada con un solenoide que cambia el flujo de aire del múltiple de escape al múltiple de admisión cada vez que se necesite la desviación.

Cuando el motor está caliente la computadora cambia el flujo de aire del múltiple de escape para el convertidor catalítico de tres vías, la cual suministra una cantidad de oxígeno al convertidor catalítico para oxidar los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) que permanecen en los gases de escape.

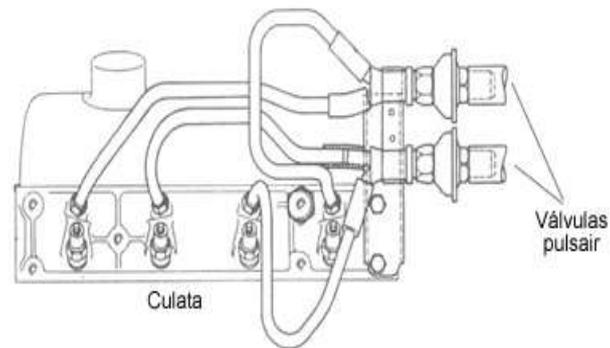
Figura 32. Componentes de un sistema de inyección de aire en el escape. [19]



**El sistema de válvula pulsair.**-Es una válvula oscilante en la que una membrana de acero obtura o libera un conducto de paso. Las oscilaciones de la membrana se producen gracias a las pulsaciones de los gases de escape en su recorrido hacia el exterior.

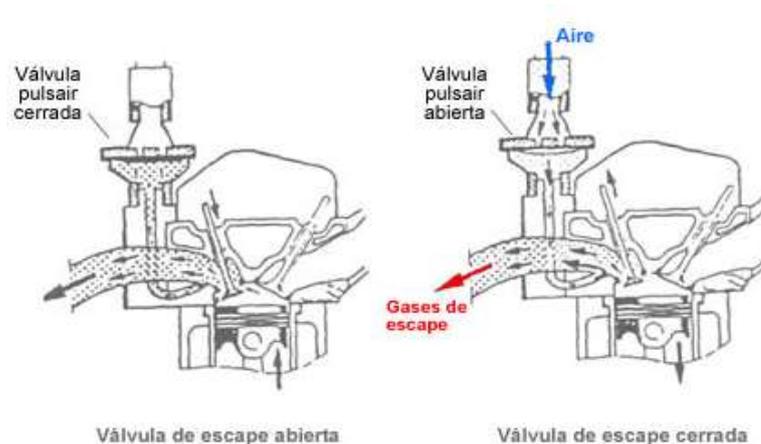
Las variaciones de presión en el sistema de escape se producen como consecuencia de las aperturas cíclicas de las válvulas y, como en los motores de cuatro cilindros hay un sincronismo de ellos dos a dos, se utiliza normalmente una válvula pulsair para cada dos cilindros, a cuyos colectores de escape se conectan por un lado.

Figura 33. Sistema de inyección de aire en el escape por medio de válvulas pulsair [20]



En el funcionamiento del motor, la salida de gases quemados del cilindro en el tiempo de escape, genera una presión que se aplica a la válvula pulsair, cuya membrana obtura el paso de aire en este momento. Inmediatamente después del cierre de la válvula de escape, la velocidad adquirida por los gases provoca una depresión en la válvula pulsair (del lado conectado al colector de escape), cuya membrana se deforma, permitiendo el paso del aire desde el filtro hacia el sistema de escape.

Figura 34. Principio de funcionamiento de las válvulas pulsair. [20]



Al igual que en el sistema anterior, en combinación con la válvula pulsair se dispone de una válvula de derivación que interrumpe la inyección de aire en las fases de deceleración del motor para evitar detonaciones en el escape.

La válvula de derivación también es activada por vacío, esta utiliza la depresión del colector de admisión para controlar el suministro de aire de la válvula pulsair durante la

desaceleración del motor.

### **Válvula de vacío**

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 9 metros o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 140 Mpa y temperaturas desde las criogénicas (bajo cero) hasta 815 °C.

Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes.

Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio).

Un sistema de inyección de aire utiliza válvulas de retención (check). Estas son válvulas de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su funcionamiento de sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería.

La válvula de retención está destinada a impedir una inversión de la circulación del fluido. La circulación en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, la válvula se cierra. Las características de esta válvula evitan que se produzcan detonaciones dentro del escape en condiciones de desaceleración.

La válvula de activación por vacío está diseñada para compensar los requerimientos de aire fresco del sistema de escape a diferentes regímenes del motor, esto se debe a que el vacío del escape que es el que comanda la válvula no es constante.

Por ejemplo a bajas revoluciones el vacío que activa la válvula es alto; esto succiona el émbolo hacia su máxima apertura permitiendo el paso adecuado del aire para poder

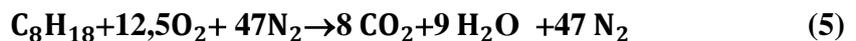
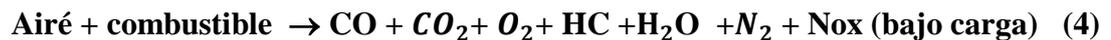
combustionar los gases de escape.

A altas revoluciones el émbolo es movido a la mitad de su recorrido permitiendo la regulación del aire que ingresa al sistema de escape. En el caso de detonaciones, la presión dentro del sistema de escape obliga al retroceso del émbolo a la posición cerrada o posición de motor apagado. Esto evita que la flama de la detonación llegue a perjudicar el sistema de inyección de aire.

## **2.10 Reacciones químicas en los gases de combustión.**

Todos los gases productos de la combustión se obtienen a partir de la reacción química del aire y del combustible que ingresa al motor, el aire tiene un 80 % de Nitrógeno y un 20 % de Oxígeno (aproximadamente).

Podemos decir entonces que la ecuación original es la siguiente:



### **2.10.1 CO (Monóxido de carbono)**

El Monóxido es resultado del proceso de combustión y se forma siempre que la combustión es incompleta, es un gas toxico, inoloro e incoloro. Normalmente el valor correcto está comprendido entre 0,5 y 2 %, siendo la unidad de medida el porcentaje en volumen. El monóxido de carbono en combinación con el oxígeno da como resultado la siguiente ecuación.



### **2.10.2 Dióxido de Carbono(CO<sub>2</sub>)**

El dióxido de Carbono es también resultado del proceso de combustión, no es toxico abajos niveles, es el gas de la soda, el anhídrido carbónico. El motor funciona correctamente cuando el CO<sub>2</sub> está a su nivel más alto, este valor porcentual se ubica entre el 12 al 15 %.

Es un excelente indicador de la eficiencia de la combustión, como regla general, lecturas bajas son indicativas de un proceso de combustión malo, que representa una mala mezcla o un encendido defectuoso.

### 2.10.3 HC ( Hidrocarburos no quemados):

La unidad de medida es el **ppm**, partes por millón de partes, recordemos que el porcentaje representa partes por cien partes y el ppm, partes por millón de partes.

La conversión sería 1%=10000 ppm.

Se utiliza el ppm, porque la concentración de HC en el gas de escape es muy pequeña.

Una indicación alta de HC indica:

- Mezcla rica, el CO también da un valor alto.
- Mala combustión de mezcla pobre.
- Escape o aceite contaminado.

El valor normal está comprendido entre 100 y 400 ppm.



### 2.10.4 O<sub>2</sub> (Oxígeno):

Un valor alto de Oxígeno puede deberse a mezcla pobre, combustiones que no se producen o un escape roto.

Un valor de 0% significa que se ha agotado todo el oxígeno, si el CO es alto es indicativo de una mezcla rica.

Normalmente el Oxígeno debe ubicarse debajo del 2 %.

### 2.10.5 Compuestos de nitrógeno.

El NO es producido por acción biológica y en los procesos de combustión. Es oxidado por acción del ozono para producir NO<sub>2</sub> y el tiempo de residencia es de solo 5 días.

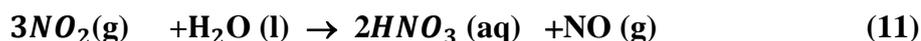


El NO<sub>2</sub> es uno de los contaminantes más peligrosos, en primer lugar por su carácter irritante y corrosivo y en segundo lugar, porque se descompone por medio de la luz

solar según la reacción:

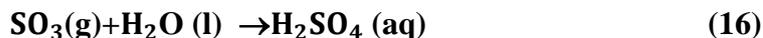
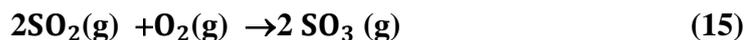
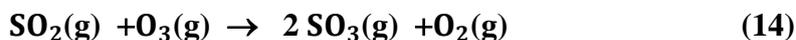
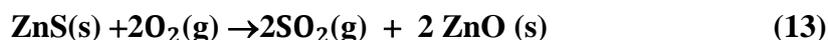


También pueden encontrarse en el aire los correspondientes ácidos: el nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y el nitroso ( $\text{HNO}_2$ ).

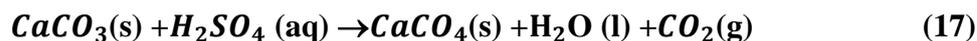


### 2.10.6 Óxidos de azufre.

De los posibles óxidos de azufre que existen sólo el dióxido y el trióxido son importantes contaminantes del aire.



El  $\text{SO}_3$  se emite conjuntamente con el  $\text{SO}_2$  en una proporción de 1/5 pero se combina rápidamente con el vapor de agua para formar ácido sulfúrico.



El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro y de olor irritante, provienen principalmente de la combustión de petróleo y carbón, y de una manera especial de las calderas de calefacción y de las instalaciones industriales.

Tabla 8. Efectos en la salud por la exposición al dióxido de azufre.

Concentración en 24 horas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Efecto observado
400-900	Posible incremento de los síntomas respiratorios (tos, irritación en la garganta, posibles silbidos en el pecho en personas con asma).
500-1700	Incremento de los síntomas respiratorios en personas con asma y posible agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
Concentración en 24 horas $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Efecto observado
1700-2300	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
2300-2900	Síntomas respiratorios severos en personas con asma y riesgo serio en las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas.
>2900	Cambio en la función pulmonar y síntomas respiratorios en individuos sanos.

## CAPÍTULO III

### 3.- IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

#### 3.1. Sistema de escape de los gases quemados.

El sistema de escape de gases quemados en un motor de combustión interna tiene la misión de canalizar la salida de los gases producidos en la combustión, desde la culata hacia el exterior de vehículo.

El vehículo utilizado para realizar la implementación del sistema de inyección de aire no consta de un control de emisiones y los elementos de los que está constituido son los siguientes.

- Colector de escape.
- Silenciador.
- Conductos de evacuación.
- Sujetadores de la tubería.

Figura 35. Sistema de escape sin control de emisiones. [21]



Para la implementación del sistema de inyección de aire en el vehículo se adicionan y se suprimen algunos elementos.

- Colector de escape tipo header.
- Conductos de evacuación.
- Convertidor catalítico.
- Silenciadores.
- Sujetadores de la tubería.

Figura 36. Sistema de escape con control de emisiones. [21]



### 3.1.1. Colector de los gases de escape.

El colector de escape que viene originalmente en el vehículo utilizado es de fabricación en hierro fundido con características que no son adecuadas para la implementación del sistema de tratamiento de gases de escape debido a que presenta algunos inconvenientes como por ejemplo:

El mecanizado en este tipo de materia es más difícil, la longitud de las tuberías es muy corta, el espacio disponible es inadecuado para la implementación del sistema de inyección de aire por lo tanto se selecciona un colector de escape diferente y con las prestaciones necesarias para nuestro requerimiento.

Figura 37. Colector de hierro fundido. [21]



Luego de analizar los inconvenientes del colector de escape original se adaptó un colector de escape tipo “header”, con las siguientes características, es fabricado con tubos de acero de 2 pulgadas de diámetro y de longitud más prolongada del colector original.

Además brinda ventajas como: mejor maleabilidad, menos problemas con la soldadura, mejor velocidad de evacuación de los gases de escape con lo que se obtiene mayor vacío y esto permite aumentar el ingreso de aire fresco proveniente del exterior y por último mayor espacio para disponer los acoples sobre el colector.

Figura 38. Colector de gases de escape tipo Header. [21]

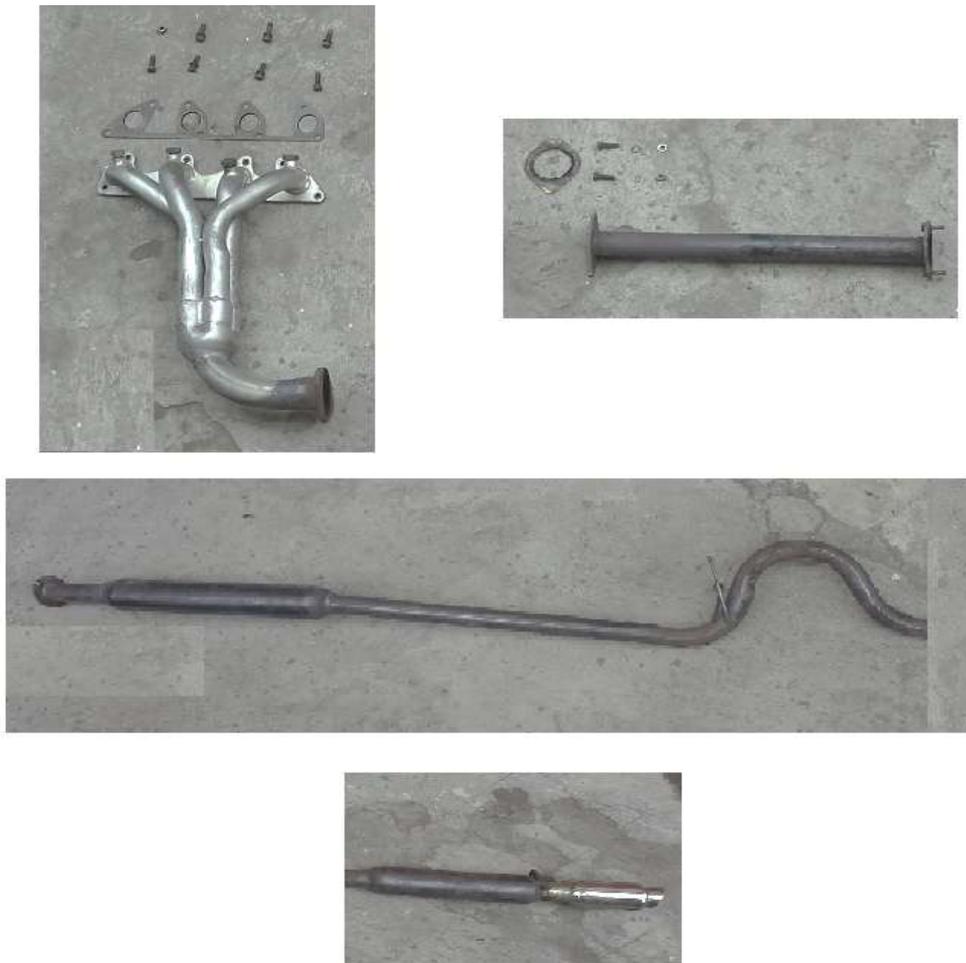


### 3.1.2. Conductos de evacuación de gases.

Al sistema de escape con el que cuenta el vehículo utilizado se adaptaron los siguientes tipos de conductos:

- Conducto inicial que originalmente no consta en el sistema de escape, transporta los gases desde el múltiple hacia el exterior y fue incluido debido a que es necesario realizar las pruebas de análisis de gases con el convertidor catalítico y sin el convertidor catalítico, tiene una longitud de 65 centímetros aproximadamente y está construido con tubería de acero inoxidable y bridas para facilitar el montaje y desmontaje del convertidor catalítico.
- Conducto intermedio: conecta el tubo de escape con el silenciador o el resonador, construido con tubo de acero de dos pulgadas y una longitud aproximadamente de 160 centímetros

Figura 39. Conductos de evacuación de los gases escape. [21]



### 3.1.3. Catalizador

Con el objetivo de disminuir las emisiones contaminantes del vehículo utilizado, se adaptó al sistema de escape un convertidor catalítico que contribuye al trabajo del sistema de inyección de aire y complementa así a la reducción de gases nocivos producidos en la combustión.

Entre los diferentes tipos de convertidores catalíticos existentes se selecciona el convertidor catalítico de tres vías (TWC) por las siguientes características:

- El catalizador de tres vías (TWC) reduce los principales tres gases contaminantes CO, HC y NOx.
- El tamaño de este catalizador es adecuado para el sistema.
- La temperatura de trabajo es de 400°C.
- Su vida útil es de trabajo es de 5 años si se utiliza combustible de alto octanaje y sin Plomo (Pb).
- La reducción aproximada de los gases contaminantes es de un 56% que fueron medidos en nuestra sistema.
- Una de las desventajas es su alto costo.
- No se consigue como repuesto en nuestro país.

Por los beneficios obtenidos y el gran aporte que da al sistema de inyección de aire en la disminución de gases contaminantes, se escogió el catalizador de tres vías, para ser implementado en el sistema de inyección de aire.

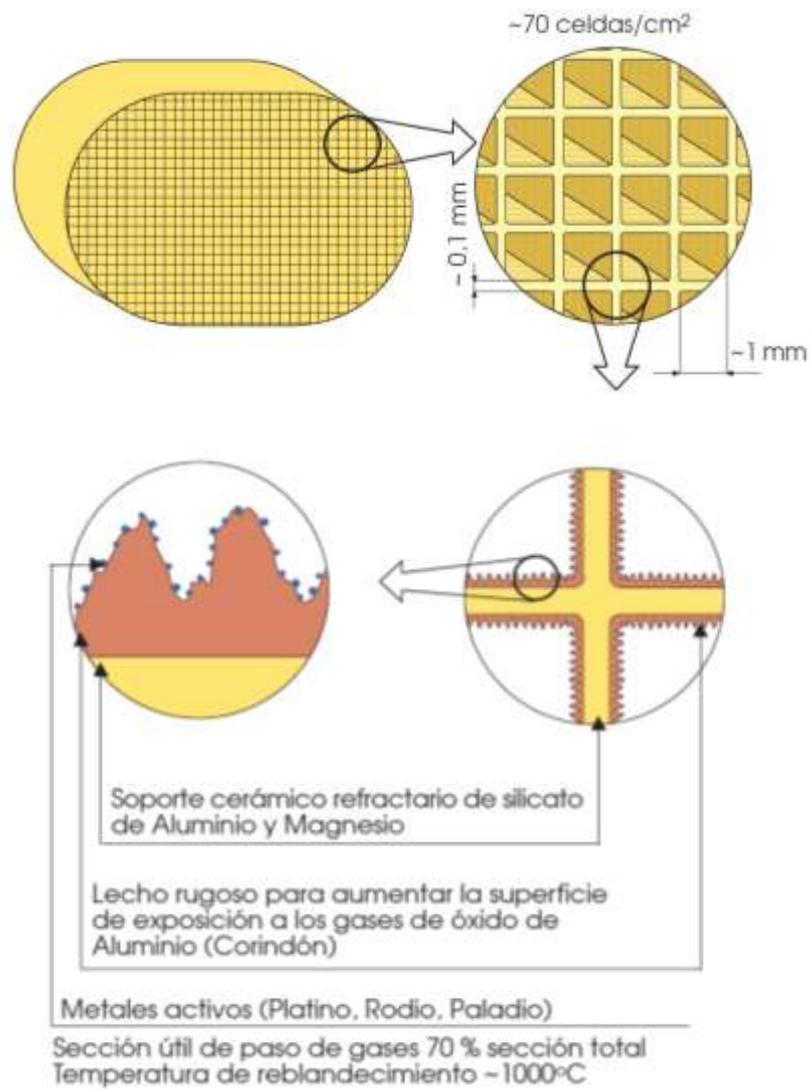
Figura 40. Gases eliminados por un catalizador de tres vías (TWC). [23]



Figura 41. Catalizador (TWC) seleccionado. [21]



Figura 42. Componentes internos de un catalizador de tres vías. [24]



### 3.2. Sistema de inyección de aire en el escape.

El oxígeno aportado de esta manera se combina fácilmente con los hidrocarburos que salen del cilindro sin quemar a gran temperatura, completando su combustión, y con el monóxido de carbono, transformándolo en bióxido de carbono. Así, este sistema reduce el contenido de HC y CO de los gases de escape.

Existen dos métodos para realizar la inyección del aire dentro del escape: por medio de una bomba de aire y por medio de válvulas activadas por la depresión que se genera dentro del escape (pulsair).

Para la selección del sistema de inyección de aire para el vehículo utilizado, consideramos los siguientes aspectos: el espacio disponible en el habitáculo del motor, los efectos que producirá el sistema sobre el funcionamiento del motor y los resultados obtenidos con cada sistema de inyección.

Se selecciona el sistema de inyección de aire mediante válvulas pulsair, debido a que es más eficiente que el sistema de inyección por bomba, no produce ninguna pérdida de potencia en el motor, además necesita de menos espacio disponible para su implementación dentro del habitáculo del motor.

Figura 43. Válvulas de vacío. [21]



Figura 44. Cañerías de cobre. [21]



### 3.2.1. Filtro de aire.

El funcionamiento del sistema de tratamiento de gases por inyección de aire requiere la instalación de un filtro para que el aire que ingresa al sistema de escape no entre con impurezas por las siguientes razones:

- Las partículas pueden producir taponamientos de las válvulas de activación por vacío (pulsair).
- Pueden obstruir las microceldas del convertidor catalítico.
- Reducir el flujo de aire necesario para realizar la postcombustión de los gases de escape.

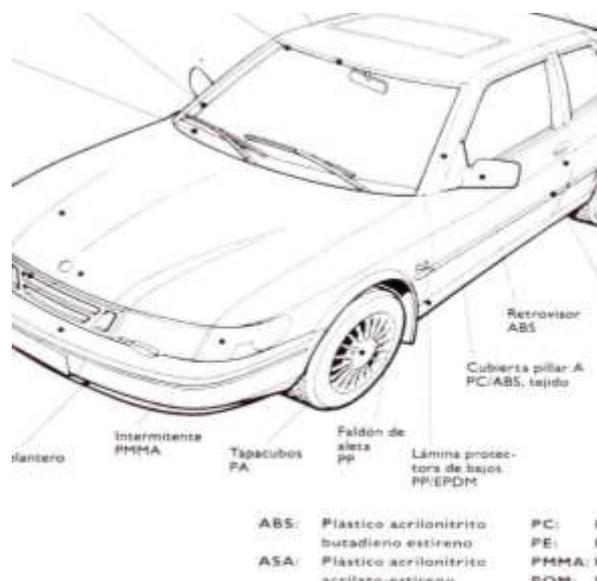
La obstrucción del catalizador puede ocasionar problemas mucho más graves en el funcionamiento general del motor, como una considerable pérdida de potencia debido a la dificultad que existe para la salida de los gases de escape, además se puede producir un excesivo aumento de la temperatura en el catalizador, esto en ciertas ocasiones han producido incendios en los vehículos debido a que el calor ha logrado encender las alfombras del auto, terminando esto con resultados muy trágicos.

Si la obstrucción se produce en las válvulas pulsair, el problema ocasionado será la pérdida del aporte de aire fresco al flujo de gases quemados, con lo que se pierde el beneficio de reducir las emisiones contaminantes, quedando el sistema inhabilitado.

El filtro requerido para éste sistema no tiene características especiales, debido a que solo se necesita que purifique el aire y evite el ingreso de material particulado que pueda ocasionar la obstrucción de los elementos del sistema de inyección de aire.

El único inconveniente que presenta durante la instalación del filtro es el espacio requerido por el portafiltro y su ubicación dentro del habitáculo del motor. Para solucionar este problema, se seleccionó un filtro cilíndrico que evitará la utilización del portafiltro, y al mismo tiempo servirá de alojamiento para las válvulas de activación por vacío.

Figura 45. Filtro de aire seleccionado. [21]



### 3.2.2. Válvula de activación por vacío.

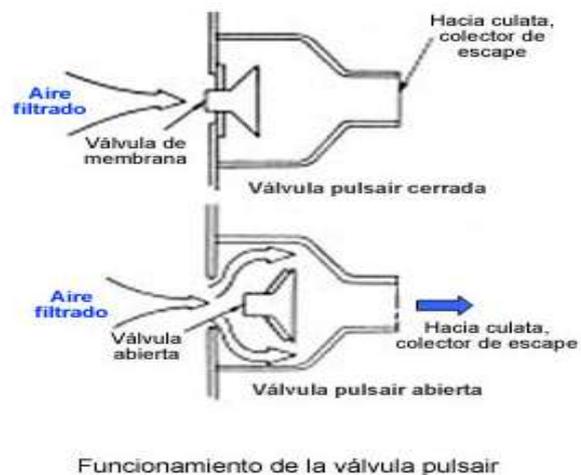
Para seleccionar las válvulas, se toma en cuenta las presiones existentes dentro del colector de escape, debido a que la válvula se abrirá con la depresión generada por los gases durante su salida desde el motor hacia el exterior del vehículo.

La presión dentro del colector del escape esta casi siempre oscilando entre los 10 bares (instantáneamente al comenzar a abrirse la válvula de escape), y -0,6 bares (luego del arrastre producido por las gases que circulan por la tuberías de escape).

Estas presiones proporcionan un rango muy amplio, dentro del cual se puede escoger las válvulas de activación por vacío.

Con esta consideración se selecciona cuatro válvulas pulsair que funcionan entre -0,5 y 2 bares, lo que es suficiente para que las válvulas se abran y cierren coordinadamente con la variación de presión existente dentro del sistema de escape, y conexiones de 3/8 de pulgada que permitirán realizar la unión con las cañerías de cobre mediante mangueras de goma.

Figura 46. Esquema de las válvulas pulsair. [26]



### 3.3. Adaptación del sistema en un vehículo a gasolina.

El sistema de tratamiento de gases de escape mediante la inyección de aire, puede ser aplicado en vehículos que son alimentados por carburación así como en vehículos alimentados por inyección de combustible.

Para el caso particular de este trabajo de tesis, el sistema va a ser implementado en un vehículo a carburador, marca Chevrolet, modelo Cóndor del año 1979, que posee un cilindraje de 1400cc.

Este vehículo no incorpora ningún tipo de sistema relacionado al control de emisiones de gases contaminantes, por lo que procederemos a implementar el sistema con la única finalidad de reducir los niveles de contaminación por gases en este vehículo.

Figura 47. Vehículo utilizado. [21]



Con el fin de lograr la implementación del sistema de tratamiento de gases de escape en este vehículo, es necesario contar con un nuevo sistema de escape y especialmente con un colector de escape en el cual se pueda instalar el juego de válvulas de activación por vacío.

El colector original de este vehículo está construido en hierro fundido, esto dificulta el mecanizado necesario para la implementación del sistema de inyección de aire, además debido a la escasez de colectores de escape para este modelo de vehículo, se adaptará un colector de escape tipo header. Sobre el header se instalará el sistema de inyección de aire; el header está construido por tubos de acero de 2 pulgadas de diámetro, lo cual facilita en gran manera las soldaduras necesarias para la implementación del sistema.

Figura 48. Implementación del header. [21]



Para lograr ingresar aire dentro del sistema de escape se realizan perforaciones a un costado de cada tubo de salida de escape del header. Sobre esta perforación irán montados los acoples para las mangueras que transportarán el aire hasta el sistema de escape.

Figura 49. Perforaciones para los acoples. [21]



Superpuesto a cada perforación están soldados acoples hembra de  $\frac{1}{4}$  de pulgada que luego se van a complementar con los acoples macho de  $\frac{1}{4} \times \frac{3}{8}$  de pulgada.

Figura 50. Acoples machos de  $1/4 \times 3/8$ . [21]



Luego de realizada la adaptación de los acoples sobre el header, resta incorporar el juego de válvulas accionadas por vacío.

Para esto se ensambla las válvulas sobre un soporte adecuado que permita la fácil conexión con los acoples macho que están montados sobre el header.

Para unir las válvulas con los acoples se utiliza cañerías de  $3/8$  de pulgada, por medio de las cuales va a circular el aire hacia el sistema de escape.

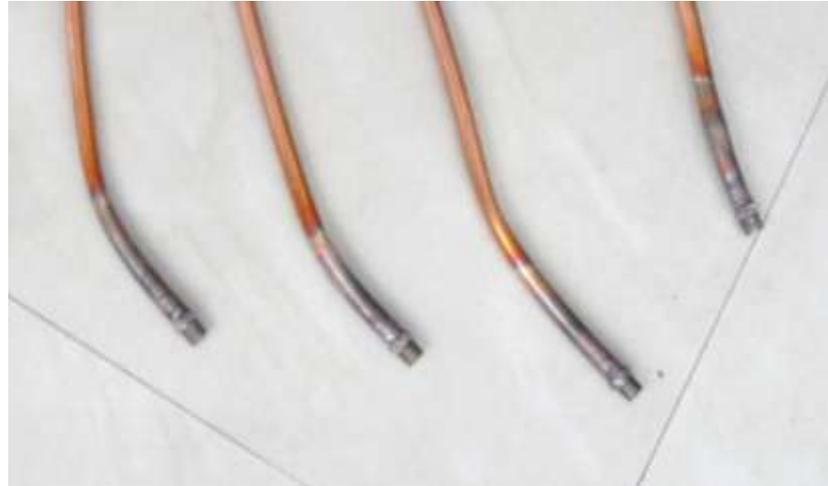
Figura 51 Acoples macho, mangueras y válvulas. [21]



Con el fin de evitar que ingresen impurezas y partículas de polvo dentro del sistema por las uniones entre los acoples macho y las cañerías de cobre, estos dos elementos fueron soldados, para sellar cualquier fuga y obtener un sistema hermético. Con esto también

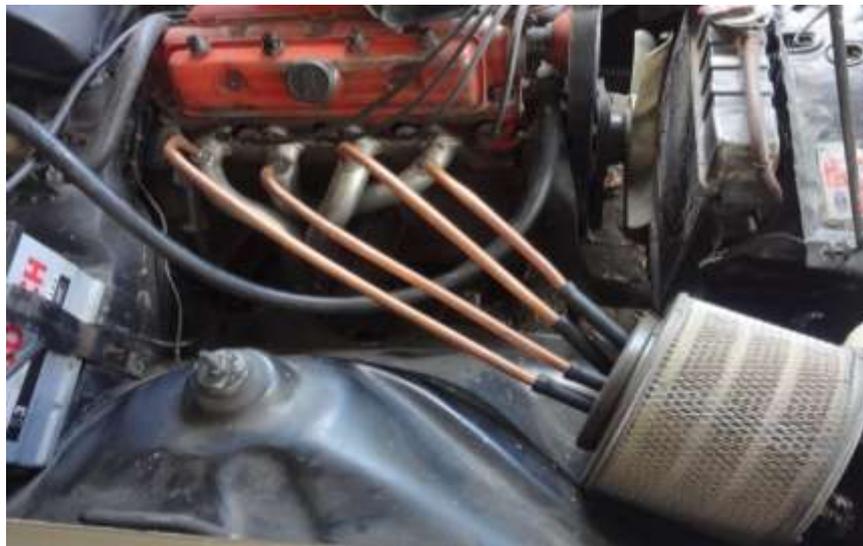
prevenimos fugas de ruido que causarían molestias durante el funcionamiento del sistema.

Figura 52. Acoples macho soldados con cañerías. [21]



Con esto se finaliza la instalación del sistema de inyección de aire sobre el sistema de escape, quedando únicamente por adaptar el convertidor catalítico.

Figura 53. Sistema completo montado en el vehículo. [21]



Para instalar el convertidor catalítico se realiza un corte en el tubo de escape lo más próximo al colector, con el fin de aprovechar la mayor temperatura de los gases de escape, esto se debe a que el convertidor catalítico requiere para su funcionamiento de temperaturas muy altas (entre 400 y 600 °C).

Figura 54. Convertidor catalítico. [21]



El convertidor catalítico queda montado sobre el sistema de escape como se observa en la figura No.57 a continuación.

Figura 55. Convertidor catalítico montado en el sistema de escape. [21]



## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

#### 4.1. Prueba de gases de escape en el vehículo a gasolina sin el sistema de inyección de aire.

Para realizar el análisis de los gases de cualquier vehículo, existen dos tipos de ensayos; los estáticos o con el vehículo detenido y los dinámicos o con el vehículo en movimiento.

En el Ecuador actualmente se tratan de implementar controles de emisiones de escape para los vehículos con el fin de controlar la contaminación ambiental generada por estos, pero en la actualidad estas medidas son aplicadas solo en dos ciudades de nuestro país, siendo la pionera Quito con el centro de revisión vehicular CORPAIRE y Cuenca con su centro de revisión Cuencaire.

El control de emisiones vehiculares que se realiza en la CORPAIRE de Quito esta direccionado a mejorar la calidad del aire de esta ciudad, por esta razón los vehículos son sometidos a los controles pertinentes, bajo las normas emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Los equipos necesarios para realizar la revisión vehicular en la CORPAIRE son los siguientes (Según Norma INEN 2349): Revisión Técnica Vehicular para vehículos livianos.

- Regloscopio, luxómetro.
- Alineador al paso.
- Frenómetro de rodillos.
- Foso de inspección o elevador equipado con gato móvil.
- Banco de suspensiones.
- Detector de holguras.
- Sonómetro Integral ponderado.
- Opacímetro y analizador de gases, según el tipo de encendido del motor.

Como podemos ver en la tabla 9 los valores máximos de emisiones exigidos por la CORPAIRE para que un vehículo apruebe la revisión técnica son los siguientes.

Tabla 9. Niveles máximos de emisiones CORPAIRE

<b>VALORES MÁXIMOS (UMBRAL TIPO III) DE EMISIONES DE VEHÍCULOS A GASOLINA (RTV 2009)</b>			
<b>PRUEBA EN VACIO EN ALTAS Y BAJAS REVOLUCIONES:</b>			
<b>ANO MODELO</b>	<b>CO (% V) Monóxido de carbono</b>	<b>HC (ppm) Hidrocarburos</b>	<b>O2 (% V) Oxigeno</b>
<b>2000 Y POSTERIORES</b>	1	200	5
<b>1990 – 1999</b>	4.5	750	5
<b>MENOR A 1989</b>	7	1300	5

<b>VALORES MAXIMOS (UMBRAL TIPO III) DE EMISIONES DE MOTOCICLETAS DE 2 Y 4 TIEMPOS (RTV2009)</b>			
<b>PRUEBA EN VACIO EN BAJAS REVOLUCIONES-RALENTI:</b>			
<b>AÑO MODELO</b>	<b>CO (% V) Monóxido de carbono</b>	<b>HC (ppm) Hidrocarburos</b>	<b>O2 (% V) Oxigeno</b>
<b>TODAS</b>	8	6000	5

<b>VALORES MAXIMOS (UMBRAL TIPO III) DE OPACIDAD DE VEHICULOS A DIESEL (RTV2009)</b>	
<b>PRUEBA EN ACELERACION LIBRE:</b>	
<b>AÑO MODELO</b>	<b>% de OPACIDAD</b>
<b>2000 Y POSTERIORES</b>	50
<b>1999 Y ANTERIORES</b>	60

Los costos de la revisión vehicular en Quito para el año 2011 mostrados en la tabla 10 son los siguientes.

Tabla 10. Costos de revisión 2011 CORPAIRE.

Tipo vehículo	Frecuencia	1ra Rev.	2da Rev.	3ra Rev.	4ta Rev.
Liviano	Anual	23,74	0,00	11,87	23,74
Pesados	Semestral	37,63	0,00	18,82	37,63
Motos y Plataformas	Anual	13,97	0,00	6,99	13,97
Busetas	Semestral	16,08	0,00	8,04	16,08
Taxis	Semestral	16,08	0,00	8,04	16,08
Buses	Semestral	31,57	0,00	15,79	31,57
Exonerados		6,73	X	X	X
Citados con revisión anterior		7,91	X	7,91	7,91

**Nota: No incluye el costo de la transacción financiera**

VALOR DE LAS MULTAS:	
Multa por convocatoria (Por no haberse revisado el año anterior)	\$ 50,00
Multa por retención (Por no haberse revisado después de recibir una citación)	\$ 200,00

VALOR DE LAS MORAS:	
Mora por condicional vencido x cada mes o fracción	\$ 10,00
Mora por citado por no concurrencia en el plazo de 8 días	\$ 10,00

La prueba de gases de escape que se realiza en el vehículo a gasolina utilizado se lleva a cabo según los estándares y límites máximos requeridos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN en su norma técnica **NTE INEN 2204. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.**

Esta norma indica que toda fuente móvil con motor de gasolina durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a: (ver Tabla 11).

Tabla 11. Límites producidos de emisiones por fuentes móviles terrestres de gasolina.

Año modelo	% CO		ppm HC	
	0 -1500	1500 – 3000	0 – 1500	1500 – 3000
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

De igual manera se aplica el método de ensayo provisto por el INEN en la norma técnica **NTE INEN 2203. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “Ralentí” para motores a gasolina.**

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.

El procedimiento a seguir para realizar la medición según la norma NTE INEN 2203 es el siguiente:

- Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización.
- Retirar todo material en forma de partículas, sustancias extrañas o agua que se hayan acumulado en la sonda de prueba que puedan alterar la lectura de la muestra.
- Revisar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro (transmisión manual).
- Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre activado, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.

- Revisar que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento.
- Revisar que el nivel de aceite del motor se encuentre entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante.
- Encender el motor y verificar que se encuentre a temperatura normal de funcionamiento.
- Con el motor encendido y en condición de ralentí, introducir la sonda en la salida del escape.
- Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por el fabricante.

#### 4.1.1. Recopilación de datos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el primer ensayo realizado en el vehículo utilizado sin implementar el sistema de inyección de aire.

Resultados obtenidos en el primer ensayo realizado en la “Electrónica Romero Hnos.”

Tabla12. Datos obtenidos primer ensayo

Año/Modelo	CO (% Vol)	HC(ppm)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	O <sub>2</sub> (% Vol)
Chevrolet Cónдор 1979	10.67	2771	5.9	3.69

Figura 56. Toma de valores. [21]



#### 4.1.2. Prueba de gases de escape en el vehículo a gasolina luego de realizar la implementación del sistema.

Una vez realizada la primera prueba de gases en el vehículo y obtenidos los datos correspondientes como se observa en la tabla 12, se procede a implementar el sistema de inyección de aire en el escape en dos fases, primero se adapta el sistema propiamente dicho; con el fin de obtener en un ensayo los resultados de la eficiencia del sistema.

Luego se instala el convertidor catalítico en serie con la tubería principal de escape, para obtener por medio de una tercera prueba la eficiencia total del sistema y poder comparar este resultado con los valores originales de emisiones contaminantes producidas por el vehículo utilizado antes de instalar el sistema de inyección de aire en el escape.

#### 4.1.3. Recopilación de datos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el segundo ensayo realizado en el vehículo utilizado, con la instalación del sistema de inyección de aire. (Ver tabla 13)

Resultados obtenidos en el ensayo realizado en la “Electrónica Romero Hnos.”

Tabla 13. Datos obtenidos segundo ensayo.

Año/Modelo	CO (% Vol)	HC(ppm)	CO <sub>2</sub> (Vol %)	O <sub>2</sub> (Vol %)
Chevrolet Cóndor 1979	7.21	1147	8.3	3.32

Por último se realiza el tercer ensayo luego de instalar el convertidor catalítico.

Resultados obtenidos en el ensayo realizado en la mecánica de patio “Guamaní.” De la ciudad de Quito:

Tabla 14. Datos obtenidos tercer ensayo.

Año/Modelo	CO (% Vol)	HC(ppm)	CO <sub>2</sub> (% vol)	O <sub>2</sub> (% Vol)
Chevrolet Cóndor 1979	1.66	457	12.0	0.02

Los resultados obtenidos en la tabla 14 correspondientes al tercer ensayo dan valores de prueba mucho más bajos que los límites máximos permitidos para un vehículo con las

características de nuestro auto de prueba, fijados por el INEN y la CORPAIRE.

La última toma de resultados fue realizada en Quito aproximadamente a 2800 m.s.n.m, a pesar de esto los resultados muestran una disminución considerable, pero si la toma fuere realizada como indica el INEN en la norma técnica correspondiente, esto es a nivel del mar, los resultados obtenidos bajarían aún más debido a la mayor presencia de oxígeno en el aire, como se puede observar en la figura

Figura 57.Toma de datos.Tercer ensayo. [21]



## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 Comparación de los datos obtenidos

Una vez obtenidos los resultados de todos los ensayos previstos para el proyecto de implementación del sistema de inyección de aire en el escape, se realiza la comparación de estos con los valores límite indicados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), y los valores requeridos por un vehículo para poder aprobar la revisión técnica vehicular de la Corporación Para el Mejoramiento del Aire (CORPAIRE) de Quito.

Con los datos obtenidos se calcula la eficiencia del sistema en las diferentes fases de implementación, comprobando así que al instalar el sistema se obtiene una reducción de los gases contaminantes.

El primer ensayo se realizó en el vehículo sin efectuar ninguna modificación en su sistema de escape, para verificar los valores de contaminación que genera el vehículo utilizado.

En la tabla 15 se observa la comparación de los valores obtenidos en el primer ensayo, con los límites requeridos por el INEN y la CORPAIRE.

Tabla 15. Comparación de datos del primer ensayo con respecto a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204.

	Primer Ensayo.	NTE INEN 2 204	CORPAIRE
%CO	10.67	5.5 – 6.5	7
%CO <sub>2</sub>	5.9	————	————
%O <sub>2</sub>	3.69	————	5
HC	2771	1000 - 1200	1300

Considerando los resultados obtenidos se aprecia que si en nuestro país se aplicarían leyes para cuidar el ambiente, el vehículo utilizado estaría excluido de circular debido a que los valores de contaminación emitidos por el escape están sobre el nivel permitido para vehículos de este tipo en el Ecuador.

Cabe recalcar que el vehículo de prueba, al momento del ensayo se encontraba en óptimas condiciones de funcionamiento, con una potencia y consumo aceptables, a pesar de esto los resultados del análisis de gases están muy por encima de los límites requeridos por el INEN y la CORPAIRE.

Para los ensayos restantes no se modifican ninguna de las características con las que se realizó el primer ensayo.

A continuación se observa en la tabla 16 los resultados expresados en porcentajes; el valor que sobrepasa el primer ensayo a los límites requeridos por el INEN y la CORPAIRE.

Tabla 16. Comparación porcentual del primer ensayo con respecto a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204.

	Primer Ensayo.	NTE INEN 2 204	CORPAIRE
%CO	10.67	77.83% (S.L)	52.43%(S.L)
%CO <sub>2</sub>	5.9	_____	_____
%O <sub>2</sub>	3.69	_____	26.2%(B.L)
HC	2771	151.91%(S.L)	113.15%(S.L)

El segundo ensayo se realizó en el vehículo luego de implementar el sistema de inyección de aire en el escape.

Los resultados obtenidos en el segundo ensayo son los siguientes:

Tabla 17. Comparación de datos del segundo ensayo con respecto a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204.

	Segundo ensayo.	NTE INEN 2 204	CORPAIRE
%CO	7.21	5.5 – 6.5	7
%CO <sub>2</sub>	8.3	_____	_____
%O <sub>2</sub>	3.32	_____	5
HC	1147	1000 - 1200	1300

A continuación se observa en la tabla 18 los resultados en porcentajes:

Tabla 18. Comparación porcentual del segundo ensayo con respecto a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204.

	Segundo ensayo.	NTE INEN 2 204	CORPAIRE
%CO	7.21	20.17%(S.L)	3%(S.L)
%CO <sub>2</sub>	8.3	_____	_____
%O <sub>2</sub>	3.32	_____	33.6%(B.L)
HC	1147	4.27%(S.L)	11.77%(B.L)

Los resultados obtenidos en este ensayo muestran que el vehículo todavía no es capaz de superar los límites requeridos por el INEN para poder circular dentro del Ecuador.

Pero al comparar los resultados del ensayo con los valores requeridos por la CORPAIRE vemos que el vehículo ha logrado aprobar los niveles de  $H_xC_y$  y  $O_2$ , restando mejorar la lectura de CO en un 3%; este valor se lograría modificando la relación aire-combustible en el carburador.

Por lo tanto el vehículo de prueba está capacitado para aprobar la revisión de la

CORPAIRE y circular por el Distrito Metropolitano de Quito.

Con estos resultados se calcula la eficiencia del sistema de inyección de aire en el escape, para lo cual se compara los resultados obtenidos del primer ensayo con los resultados obtenidos en el segundo, como se ilustra en la tabla 19.

Tabla 19. Eficiencia del sistema. Primer ensayo vs segundo ensayo.

	Primer ensayo.	Segundo ensayo.	Diferencia	Eficiencia
%CO	10.67	7.21	3.46	32.43%
%CO <sub>2</sub>	5.9	8.3	2.4	40.68%
%O <sub>2</sub>	3.69	3.32	0.37	10.03%
H <sub>X</sub> C <sub>Y</sub> (ppm)	2771	1147	1624	58.61%

De los resultados obtenidos se observa que el sistema de inyección de aire en el escape ha reducido en un 32.43% las emisiones de CO, los H<sub>X</sub>C<sub>Y</sub> han disminuido un 58.61%.

Los valores de CO<sub>2</sub> aumentan debido a que se mejora la combustión de los gases quemados y el O<sub>2</sub> disminuye por la misma razón, pero el valor del O<sub>2</sub> es irrelevante debido a que el oxígeno no es un gas que contamina el ambiente.

Finalmente se realizó un tercer ensayo en el vehículo utilizado, luego de instalar además del sistema de inyección de aire, un convertidor catalítico que complementará la función del sistema.

Debido a que el convertidor funciona como un horno y mediante procesos químicos de oxidación ayudaran a completar la combustión de los gases provenientes del escape del motor como el monóxido de carbono y los hidrocarburos, además por medio de la reducción disminuye los niveles de los óxidos de nitrógeno.

Los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 20. Comparación del tercer ensayo con respecto a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204.

	Tercer ensayo.	NTE INEN 2 204	CORPAIRE
%CO	1.66	5.5 – 6.5	7
%CO <sub>2</sub>	12.0	_____	_____
%O <sub>2</sub>	0.02	_____	5
HC (ppm)	457	1000 - 1200	1300

Al igual que el segundo ensayo, no se ha modificado las características de funcionamiento para realizar el último ensayo. Con la adición del convertidor catalítico al sistema de inyección de aire en el escape, se observa claramente como este elemento aporta una mejora significativa a los resultados finales obtenidos en el tercer ensayo.

Observamos en la tabla 21 los resultados del tercer ensayo expresados en porcentajes:  
Tabla 21. Comparación del tercer ensayo en porcentajes con respecto a la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204

	Tercer ensayo.	NTE INEN 2 204	CORPAIRE
%CO	1.66	72.33% (B.L)	76.28% (B.L)
%CO <sub>2</sub>	12.0	_____	_____
%O <sub>2</sub>	0.02	_____	99.60% (B.L)
HC (ppm)	457	58.45% (B.L)	64.85% (B.L)

Tabla 22. Eficiencia del sistema. Primer ensayo vs tercer ensayo.

	Primer ensayo.	Tercer ensayo.	Mejora	Eficiencia
%CO	10.67	1.66	9.01	84.44%
%CO <sub>2</sub>	5.9	12.0	6.1	50.83%
%O <sub>2</sub>	3.69	0.02	3.67	99.45%
HC(ppm)	2771	457	2314	83.50%

Los resultados obtenidos en la tabla 21 muestran que el vehículo de prueba logró superar con facilidad los límites máximos permitidos por el INEN y la CORPAIRE, reduciendo las emisiones de, CO según el INEN en un 72.33%, y los niveles de HC en un 58.45%, el porcentaje de oxígeno que casi llega a cero, nos muestra que la combustión ha mejorado en un nivel similar.

Cálculo de la eficiencia final del sistema, relacionando el primer y tercer ensayo.

La eficiencia calculada en la tabla 22 es la comparación realizada entre los resultados originales y los obtenidos con el sistema de inyección de aire en el escape completo y funcionando.

El cálculo de la eficiencia total del sistema de inyección de aire, proporciona resultados favorables hacia la disminución en todos y cada uno de los gases contaminantes producidos por el vehículo utilizado.

Finalmente se calcula la eficiencia del convertidor catalítico, comparando los datos obtenidos en el segundo y tercer ensayo.

Tabla 23. Eficiencia del sistema.Segundo ensayo vs tercer ensayo.

	Segundo ensayo	Tercer ensayo	Mejora	Eficiencia
%CO	7.21	1.66	5.55	76.98%
% CO <sub>2</sub>	8.3	12.0	3.7	30.83%
%O <sub>2</sub>	3.32	0.02	3.30	99.40%
HC	1147	457	690	60.15%

Los resultados de la eficiencia obtenidos en la tabla 23 son prácticos e ilustrativos, ya que permiten observar que el sistema funciona.

El valor de eficiencia total del sistema puede ser utilizado como referencia general de funcionamiento del sistema.

## 5.2. Obtención de gráficas comparativas.

A continuación se observa mediante gráficas la disminución de los gases contaminantes provenientes del tubo de escape.

En las gráficas realizadas se puede observar detalladamente cómo va reduciendo cada uno de los gases más contaminantes provenientes del sistema de escape, como por ejemplo el monóxido de carbono y los hidrocarburos que son los gases que más contaminan el ambiente.

Además de las gráficas de los gases contaminantes se obtiene la gráfica del dióxido de carbono, que nos ayuda a interpretar los resultados de la postcombustión realizada dentro del escape por la inyección de aire proveniente de la atmósfera.

Figura 58. Variación del CO antes y después de adaptar el sistema. [27]

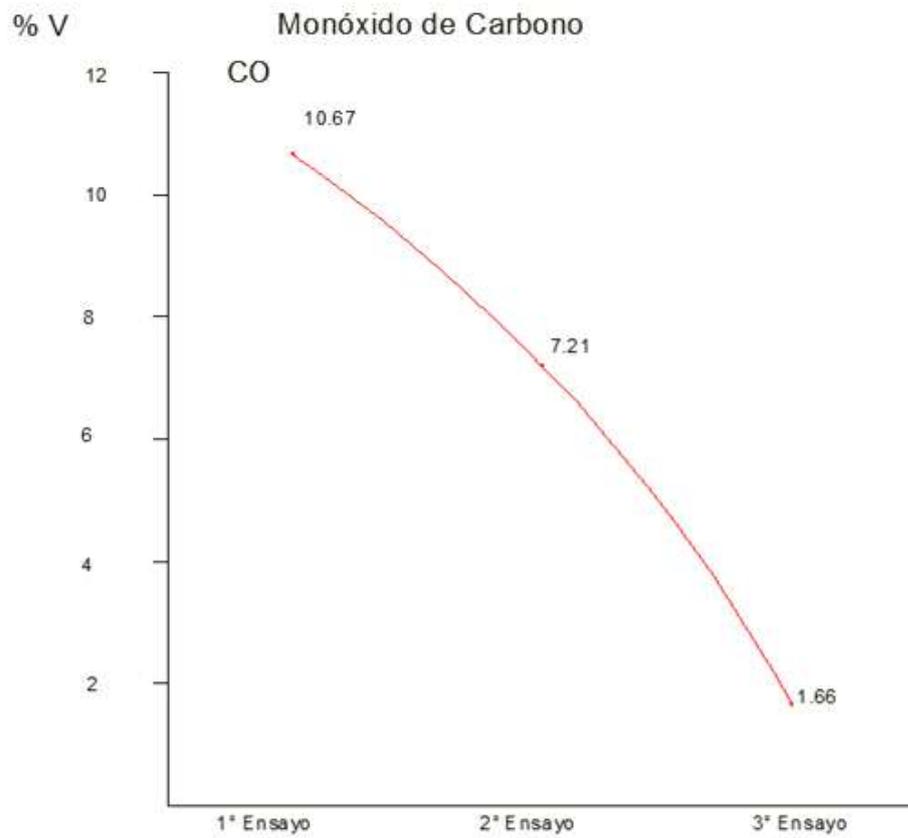


Figura 59. Gráficas variación de los  $H_XC_Y$  antes y después de adaptar el sistema. [27]

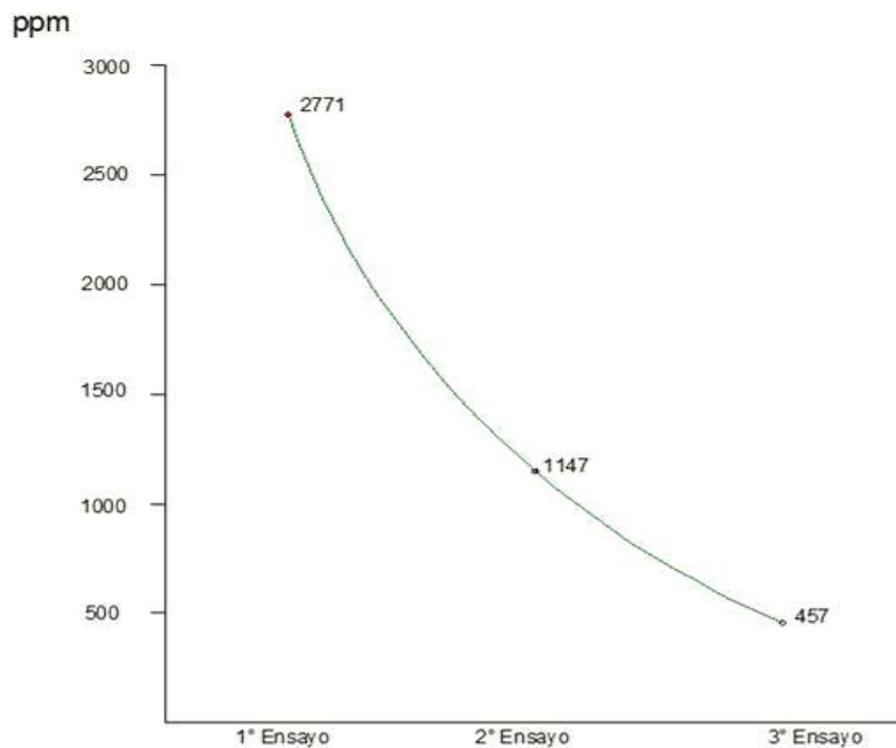


Figura 60. Gráficas variación de CO<sub>2</sub> antes y después de adaptar el sistema. [27]

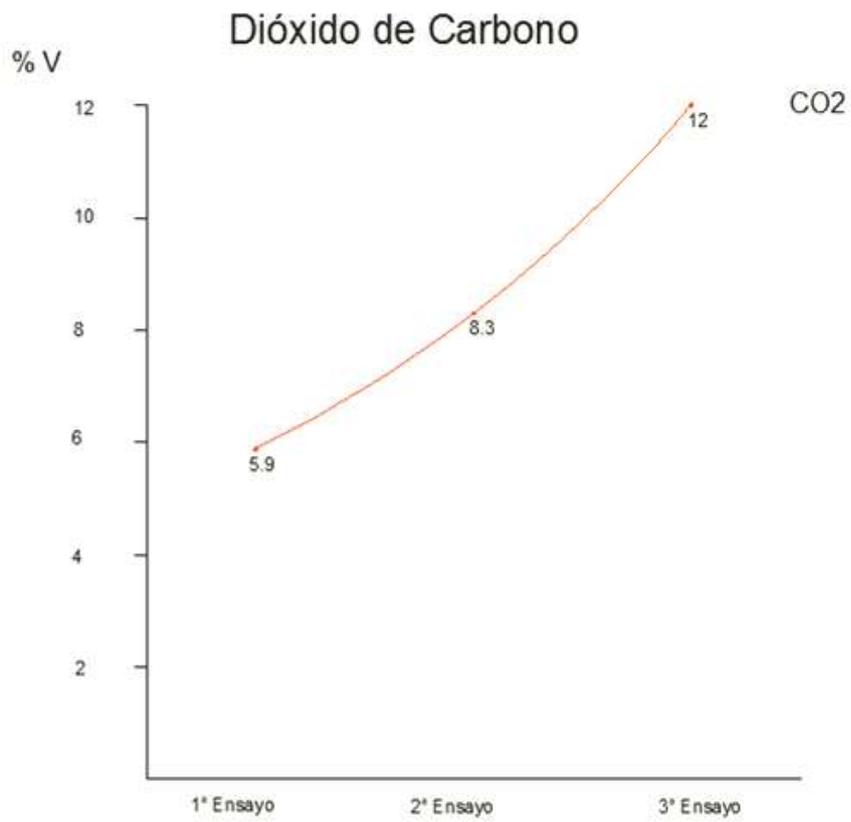
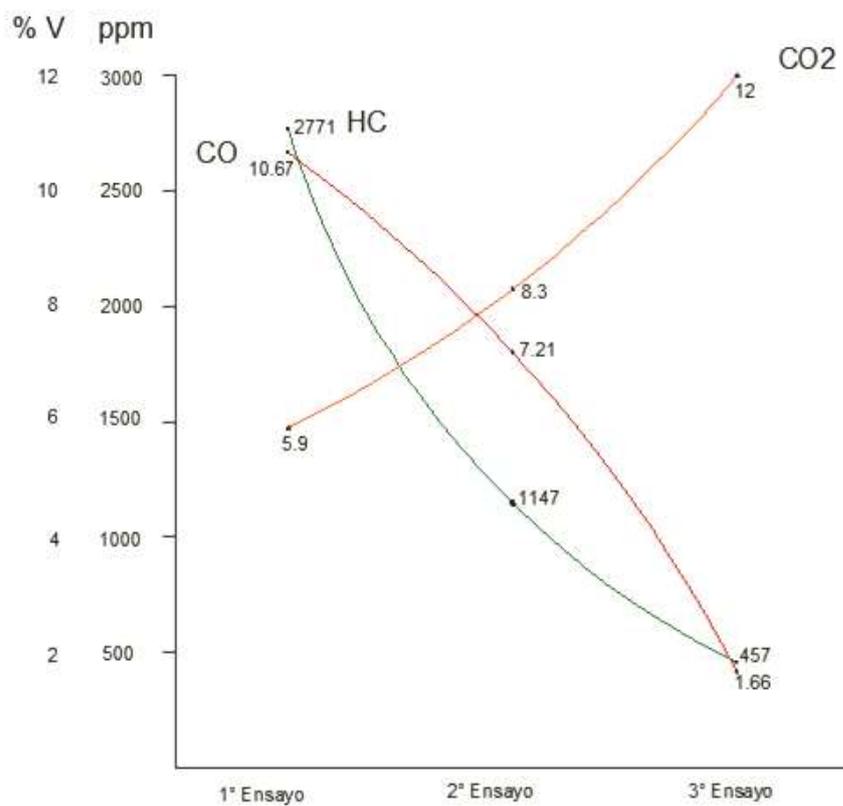


Figura 61p. Variación de los gases contaminantes en los diferentes ensayos. [27]



### **5.3. Resultados finales.**

Los resultados indican que los valores obtenidos en el primer ensayo sin implementar el sistema de inyección de aire en el escape sobrepasan los niveles reglamentarios requeridos por un vehículo para circular dentro del territorio Ecuatoriano.

Los resultados obtenidos en el segundo ensayo indican que luego de implementar el sistema de inyección de aire en el escape del vehículo de prueba, los valores de los contaminantes han bajado significativamente, quedando muy cerca de cumplir con los valores límite requeridos por el INEN y la CORPAIRE.

En general, la eficiencia del sistema de inyección de aire sin el convertidor catalítico es del **44%** en la reducción de gases contaminantes.

La eficiencia del sistema con el convertidor catalítico es del **56%** sobre los resultados obtenidos en el segundo ensayo.

En general la eficiencia del sistema de inyección completo y en pleno funcionamiento es del **73%**, sobre los datos obtenidos en el primer ensayo de análisis de gases realizados en el vehículo utilizado.

## CAPITULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se ha contribuido a la protección del ambiente mediante la implementación de un sistema postcombustión en el tubo de escape de un vehículo ya que mediante diferentes análisis se demuestra que los niveles de contaminación disminuyen en un 73.00%.
- Los niveles de gases contaminantes producidos por un vehículo durante su funcionamiento luego de implementar el sistema de inyección de aire en el escape disminuyen en el CO 72,33%; los  $H_X C_Y$  en 58,45%.
- Luego de la implementación se observa una disminución en los valores de los gases CO y  $H_X C_Y$  debido a que estos son convertidos en  $CO_2$  luego de una combustión completa.
- El proyecto realizado cumple con todos los objetivos planteados por la razón de que se logró disminuir la contaminación del ambiente en un 73% llenando así todas las expectativas que se tuvo, gracias al sistema que se construyó e implemento en un vehículo a gasolina.
- La implementación del sistema de tratamiento de los gases de escape en un vehículo de gasolina tiene grandes ventajas como la reducción en un gran porcentaje de los gases contaminantes a la atmosfera muy por debajo de los índices establecidos en la ley ambiental de la república del Ecuador.

#### 6.2. Recomendaciones

- El sistema no debe ser instalado en el vehículo sin antes haber sido sometido a un riguroso análisis, tanto en la ubicación de cada uno de los elementos que componen el sistema así como en la parte investigativa del sistema.
- Es recomendable realizar varias pruebas antes y después de la implementación del sistema para tener en cuenta el correcto funcionamiento del sistema.
- Para una correcta recopilación de datos en cada una de las pruebas es necesario que el analizador de gases este bien conectado al tubo de escape del vehículo, calibrado correctamente y esperar que el motor llegue a la temperatura ideal de funcionamiento.

- La posibilidad de que se incremente este sistema en los vehículos a gasolina tanto a carburador como a inyección es factible por lo que la implementación de este sistema no tiene un costo muy elevado, fácil de desarrollar y ayuda a disminuir la contaminación del ambiente.
- El combustible utilizado en el Ecuador no tiene propiedades ideales por lo tanto tiende a contaminar de una manera excesiva el ambiente, el sistema que estamos planteando para la disminución de la contaminación vendría a ser una buena opción para el propósito de contaminar menos.
- Se recomienda instalar el sistema de tratamiento de gases de escape en vehículos que no poseen control de emisiones, para así contribuir al cuidado del ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTANDER, Jesús. Técnico Mecánica y Electrónica Automotriz, tomo 1. Colombia: Diseli 2005. Pág 105.
- [2] ALONSO José. Tecnologías avanzadas del automóvil, 4° edición. Thompson, 2004. Pág 327.
- [3] GERSCHLER, Hellmut.GTZ. Tecnología del Automóvil, tomo 2, 20° edición. Alemania 1985. Pág 216-218.
- [4] GIL MARTÍNEZ, Hermógenes. Manual del Automóvil, El motor de gasolina. Tomo 1 Edición 2001. Pág 520.
- [5] JERVES Rubén, Contaminación atmosférica y control de emisiones al aire, 1° edición. 2006. Pág 85-89.
- [6] [http://www.motorspain.com/vario/mecánica/inyección electrónica](http://www.motorspain.com/vario/mecánica/inyección_electrónica)
- [7] <http://www.aficionadosalamecanica.com/catalizadores.htm>
- [8] JERVES Rubén, Contaminación atmosférica y control de emisiones al aire, 1° edición. 2006. Pág 96.
- [9] <http://www.educarchile.htm>
- [10] TECNOMOTOR, Manual de reparaciones de sistemas electrónicos de vehículos, volumen 1. Pág 527
- [11] JERVES Rubén, Contaminación atmosférica y control de emisiones al aire, 1° edición. 2006. Pág 103
- [12] [http://www.portalplanetasedna.com./efecto\\_invernadero1.htm](http://www.portalplanetasedna.com./efecto_invernadero1.htm)
- [13] <http://www.naikontuning.com/articulos/motor-bi-turbo-TSI/>
- [14] <http://www.mecanicavirtual.com./sistema-de-escape.html>
- [15] <http://espanol.walkerexhaust.com/support/exhaust101/componentsAndDesign.html>
- [16] <http://motorfull.com/catalizadores-de-daihatsu-con-menos-cantidad-de-paladio.html>
- [17] <http://www.rolcar.com.mx/mecanica/catalizador%20elemento/catalizadores.asp>
- [18] <http://www.neumaticosbenidorm.com/>
- [19] <http://www.ms-motor-service.es>
- [20] ALONSO José. Técnicas del automóvil, Inyección de gasolina y dispositivos anticontaminantes. 2° edición actualizada. Ed. Madrid: Thompson,

2003.Pág 73.

[21] Leonardo Danilo Arroba M, Danny Gabriel Jiménez M. Autores.

[22] JERVES Rubén, Contaminación atmosférica y control de emisiones al aire, 1<sup>o</sup> edición. 2006. Pág 105

[23] <http://www.aficionadosalamecanica.com/catalizadores.htm>

[24] <http://aaa-ac.com/catalizadores.html>

[25] <http://es.dreamstime.com/filtros-de-aire,html>

[26] <http://www.mecanicavirtual.org/escape-inyeccion-aire.htm>

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALONSO José, Técnicas del automóvil, Motores: Madrid: Thompson, 2004.

ALONSO José. Técnicas del automóvil, Inyección de gasolina y dispositivos anticontaminantes. 2º edición actualizada. Ed. Madrid: Thompson, 2003.

ALONSO José. Tecnologías avanzadas del automóvil, 4º edición. Thompson, 2004.

CEAC. Manual del automóvil. Grupo editorial CEAC, 2003

GERSCHLER, Hellmut. GTZ. Tecnología del Automóvil, tomo 2, 20º edición. Alemania 1985.

GIL MARTÍNEZ, Hermógenes. Manual del Automóvil, El motor de gasolina. Tomo 1 Edición 2001.

GIL, Hermógenes. Manual Práctico del automóvil, editorial CULTURAL s.a.

SANTANDER, Jesús. Técnico Mecánica y Electrónica Automotriz, tomo 1, 2, 3, Colombia: Diseli 2005

TECNOMOTOR, Manual de reparaciones de sistemas electrónicos de vehículos, vol. 1

## **LINKOGRAFÍA**

### **ESCAPE INYECCIÓN AIRE**

<http://www.mecanicavirtual.org/escape-inyeccion-aire.htm>

28-11-2007

### **MOTOR SERVICE**

<http://www.ms-motor-service.es>

25-05-2003

### **TODO MECÁNICA**

<http://www.todomecanica.com/>

### **REVISIÓN QUITO**

[www.revisionquito.gob.ec](http://www.revisionquito.gob.ec)

### **AFICIONADOS A LA MECÁNICA-CATALIZADORES**

<http://www.aficionadosalamecanica.com/catalizadores.htm>

### **INYECCIÓN ELECTRÓNICA**

<http://www.motorspain.com//varios/mecanica/la-inyeccion-electronica.html>

17-10-2007

### **SISTEMA DE ESCAPE**

<http://www.mecanicavirtual.com./sistema-de-escape.html>

01-08-2010

### **CATALIZADORES DE DAIHATSU CON MENOS CANTIDAD DE PALADIO**

<http://motorfull.com//catalizadores-de-daihatsu-con-menos-cantidad-de-paladio.html>

22-05-2008

### **FILTROS DE AIRE**

<http://es.dreamstime.com/filtros-de-aire.html>

### **CATALIZADORES**

<http://aaa-ac.com/catalizadores.html>

## **EFFECTO INVERNADERO**

[http://www.portalplanetasedna.com./efecto\\_invernadero1.htm](http://www.portalplanetasedna.com./efecto_invernadero1.htm)

## **MOTOR BI TURBO TSI**

<http://www.naikontuning.com/articulos/motor-bi-turbo-TSI/>