



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA
ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94**

Eldon López Ruano

Asesorado por el Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres

Guatemala, enero de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA
ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ELDON LÓPEZ RUANO

ASESORADO POR EL ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLINDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Walter Guillermo Castellanos Rojas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA
ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de noviembre de 2011.

Eldon López Ruano

Guatemala 18 de septiembre de 2 017

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortíz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán:

Atentamente me dirijo a usted para someter a su consideración el trabajo de graduación **EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94**, elaborado por el estudiante Eldon López Ruano. Con registro académico **200611412** y CUI **2535271980101**.

He asesorado y revisado el trabajo y considero que llena satisfactoriamente los requisitos, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradeciendo su atención a la presente, me suscribo,

Atentamente


Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
Colegiado 5641
Asesor

Ing. Byron G. Palacios C.
Colegiado No. 5641

Ref.E.I.M.264.2017

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94** desarrollado por el estudiante **Eldon López Ruano, CUI 2535271980101, Registro Académico 200611412** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre 2017

MA Ing. Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2704



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.332.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94** desarrollado por el estudiante **Eldon López Ruano**, CUI 2535271980101, Registro Académico 200611412 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Directo
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala noviembre de 2017

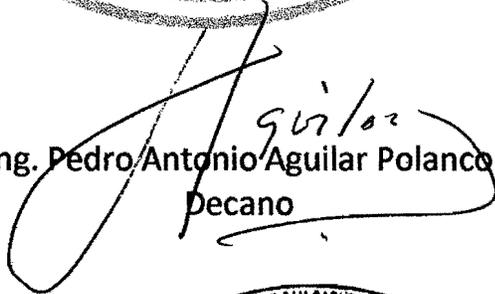
/aej



DTG. 001.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **EFFECTOS PRODUCIDOS POR EL CAMBIO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA DEBIDO A LA ALTITUD Y SU RELACIÓN CON LA PÉRDIDA DE POTENCIA EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94**, presentado por el estudiante universitario: **Eldon López Ruano** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por regalarme la vida y por permitirme llegar a este punto de mi carrera.
- Mi esposa** Claudia Figueroa, por ser el amor de mi vida y la inspiración para seguir perseverando en mi carrera, a pesar de las dificultades.
- Mi hija** Adriana Isabella, por ser la motivación para ser un ejemplo que puedas seguir.
- Mis padres** Carlos López y Elena de López, por ser un ejemplo de vida y por todo el apoyo incondicional que me brindaron durante mis estudios.
- Mis hermanos** Alan López, por enseñarme sobre la vida y ser un ejemplo por seguir. Carlos López, por inspirarme para ser mejor cada día y así ser un ejemplo que pueda seguir.
- Mis amigos** Byron Bonilla, Gustavo de León, Kevyn Juárez, Alison Ixcot y Christopher García, por todo el apoyo que me brindaron durante el tiempo que nos conocemos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por dejarme ser parte de toda esa gran familia de profesionales que ahí son formados.

Facultad de Ingeniería

Por liberar mi mente a nuevas posibilidades y enseñarme a aprender hasta de lo más simple de la vida.

Mis catedráticos

Por ser las personas que dedican su vida a enseñar y fomentar el conocimiento y hacer de sus consejos y enseñanzas la persona que soy.

Mi asesor de tesis

Por todo el tiempo dedicado para revisar y corregir este trabajo de graduación, así como por su paciencia y sus consejos.

**Servicio Automotriz
Alan**

Por haberme enseñado la belleza del trabajo y por todo lo que en esa casa aprendí de la mano de mi hermano.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO.....	1
1.1. Funcionamiento del motor de combustión interna ciclo Otto	1
1.1.1. Ciclo termodinámico de Otto	2
1.1.2. Carrera de admisión	4
1.1.3. Carrera de compresión	5
1.1.4. Carrera de expansión	5
1.1.5. Carrera de escape	6
1.1.6. Alimentación de la mezcla aire combustible.....	7
1.1.7. Rendimiento volumétrico	8
1.1.8. Efectos atmosféricos en un motor de combustión interna ciclo Otto	9
1.1.9. Composición del aire y su comportamiento a diferente altitud	9
1.1.9.1. Presión atmosférica	10
1.2. Mitsubishi 4G94	13
1.2.1. Especificaciones técnicas del motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94	13
1.2.2. Sensor de flujo másico de aire	16
1.2.3. Sensor de la presión absoluta del múltiple.....	18

1.2.4.	Sensor de oxígeno o sonda lambda.....	21
1.3.	Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition	23
2.	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO TURBOALIMENTADO	25
2.1.	Funcionamiento de un motor de combustión interna ciclo Otto turboalimentado	26
2.1.1.	Admisión en un motor turboalimentado.....	27
2.1.2.	Compresión en un motor turboalimentado	29
2.1.3.	Expansión en un motor turboalimentado.....	30
2.1.4.	Escape en un motor turboalimentado.....	30
2.1.5.	Comparación de un motor de combustión interna turboalimentado contra uno de aspiración natural, ambos encendidos por chispa.....	32
2.2.	Efectos atmosféricos en un motor de combustión interna ciclo Otto turboalimentado.....	34
3.	CÓMO MEJORAR EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MITSUBISHI 4G94	35
3.1.	Accesorios para aumentar el rendimiento de los motores de combustión interna encendidos por chispa.....	36
3.2.	Comportamiento del ciclo de Otto variando la temperatura del aire.....	37
3.2.1.	Suposición de aire estándar	40
3.2.2.	Atmosfera estándar	44
3.2.3.	Interpretación de resultados	52
3.3.	Planteamiento de una solución.....	53
3.3.1.	Sistema de admisión de alto flujo de aire.....	54
3.3.1.1.	Características de diseño.....	58

3.3.1.2.	Funcionamiento básico	59
3.3.2.	Sistema de escape <i>Header</i>	62
3.3.2.1.	Características de diseño	65
3.3.2.2.	Funcionamiento básico	70
4.	PRUEBAS DE CAMPO.....	73
4.1.	Prueba de recorrido del vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition a diferente altitud	74
4.1.1.	Recorrido ascendente.....	75
4.1.2.	Recorrido descendente.....	77
4.1.3.	Recorrido en altitud media.....	78
4.1.4.	Comparación de resultados.....	79
4.2.	Comparación de resultados obtenidos en dinamómetro y especificaciones de fábrica Del motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94	80
4.2.1.	Interpretación de resultados	83
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	APÉNDICES	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de cilindro y pistón	2
2.	Diagrama $T-s$ para el ciclo termodinámico de Otto.....	3
3.	Diagrama $P-v$ para el ciclo termodinámico de Otto.....	4
4.	Motor de combustión interna ciclo de Otto Mitsubishi 4G94.....	13
5.	Proceso de entrada de aire a los cilindros	16
6.	Diagrama de un sensor de flujo Kármán Vortex	18
7.	Diagrama de un sensor de presión absoluta del múltiple (MAP).....	19
8.	Gráfica de voltaje de salida frente a presión del múltiple de admisión	20
9.	Gráfica de la lectura del sensor de oxígeno.....	22
10.	Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003	23
11.	Esquema de un turbocompresor	27
12.	Esquema del funcionamiento de un MCI turboalimentado	31
13.	Comparación de un MCI de aspiración natural con un MCI turboalimentado.....	33
14.	Procesos y diagrama $T-s$ del ciclo termodinámico de Otto.....	38
15.	Eficiencia térmica del ciclo termodinámico de Otto con temperaturas de 15-37 °C	48
16.	Eficiencia térmica del ciclo termodinámico de Otto con Temperaturas de 15-62 °C.....	52
17.	Prueba en dinamómetro con sistema de admisión de alto flujo de aire.....	57

18.	Partes originales y de alto flujo de aire de un MCI ciclo de Otto Mitsubishi 4G94	59
19.	Apertura de la aleta del acelerador	61
20.	Prueba en dinamómetro con sistema de escape <i>header</i>	64
21.	Diseño 4-2-1 de <i>headers</i>	66
22.	Kit de <i>headers</i> para un MCI ciclo de Otto Mitsubishi 4G94	69
23.	Fragmento del panel cerámico del convertidor catalítico de fábrica.....	71
24.	Fragmento de un convertidor catalítico de alto flujo	71
25.	Gráfica de potencia obtenida en el dinamómetro Dynojet de Autopiezas S.A.	82
26.	Gráfica de potencia obtenida en el dinamómetro por ProjeLancer.net	83

TABLAS

I.	Altitud frente a presión atmosférica.....	11
II.	Densidad del aire según altitud y temperatura.....	12
III.	Ficha técnica motor 4G94.	14
IV.	Ficha técnica Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition.....	24
V.	Propiedades de gas ideal del aire	43
VI.	Datos de la temperatura del aire de admisión del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94	49
VII.	Datos de la apertura de la aleta del acelerador del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94	60
VIII.	Apertura de las válvulas de admisión y escape de MCI 4G94	67
IX.	Diámetro de tubería obtenida de las ecuaciones.....	69
X.	Datos del consumo de combustible por kilómetro recorrido.....	74

XI. Datos de pruebas del consumo de combustible	80
XII. Datos de vehículos con y sin accesorios <i>Bolt-on</i>	84

GLOSARIO

Carburante	Mezcla de hidrocarburos que se emplea en los motores de combustión interna.
Ciclo	Conjunto de una serie de fenómenos u operaciones que se repiten ordenadamente.
Combustión	Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.
Convertidor catalítico	O catalizador es un componente del motor de combustión interna que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna.
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> , es una computadora que por medio de diversos sensores controla la cantidad de combustible que se inyecta al cilindro así como el tiempo de ignición.
Isentrópico	Proceso en el que la entropía del sistema permanece constante.

Lumbreras

Abertura en un techo o en la parte alta de una pared para que entre el aire.

OBD II

On Board Diagnostics II (diagnóstico a bordo II), la segunda generación de los requerimientos del equipamiento auto diagnosticable de los automóviles.

SOHC

Single Over Head Camshaft, árbol de levas simple en la cabeza, es un tipo de motor de combustión interna que usa un árbol de levas, ubicado en la culata, para operar las válvulas de escape y admisión del motor.

RESUMEN

Es un hecho que los efectos de la altitud sobre el nivel del mar, influyen en el rendimiento de un MCI ciclo Otto. En este trabajo de investigación se busca equilibrar el bajo rendimiento modificando el MCI ciclo Otto en una medida un tanto moderada, ya que se busca que sea de fácil acceso para cualquier conductor.

Con base en el funcionamiento básico del MCI ciclo Otto y las funciones de sus diferentes componentes encargados de realizar una buena combustión sin importar la altitud a la que este se encuentre, se buscan soluciones para mejorar el rendimiento y con esto decir que su consumo de combustible es tan bajo que se asemeja a las especificaciones de los fabricantes, que siempre asumen condiciones ideales.

Cuando las causa de la disminución de potencia son identificadas, se opta por eliminar toda restricción del sistema de admisión, así como en el sistema de escape. Estas modificaciones dan como resultado una mejora bastante aceptable y su potencia aumenta de manera que a grandes altitudes su rendimiento no disminuya tanto como en un MCI ciclo Otto estándar.

Se estima que por cada 1 000 metros de altitud sobre el nivel del mar, un MCI pierde un 10 % de potencia por la disminución de la densidad del aire, con esto disminuye también el oxígeno, elemento indispensable para la combustión.

Si bien disminuye la densidad del aire a mayor altitud, una respuesta lógica es aumentar el volumen de aire que entra a los cilindros, pero esto

conlleva una serie de modificaciones que requieren de gran esfuerzo, tanto en trabajo como en economía, por lo que se opta por un sistema que elimine la mayor cantidad de restricciones en la entrada del aire a los cilindros, con esto se logra que el MCI tome la mayor cantidad de aire que su diseño permite. Liberar las restricciones en la entrada requiere hacer lo mismo en la salida, por lo que se opta por un sistema que elimine la mayor restricción posible en la salida de los gases de escape.

En Guatemala, un país con una variación de altitudes sobre el nivel del mar en todo su territorio, es una solución viable para aumentar el rendimiento, tanto de consumo de combustible como potencia del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94 del vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003, pues el simple hecho de cambiar el sistema de admisión y escape por otros que eliminen la mayor cantidad de restricciones posibles, mejora su rendimiento notablemente.

OBJETIVOS

General

Investigar los efectos que se producen por el cambio de presión atmosférica debido a la altitud y su relación con la pérdida de potencia en un motor de combustión interna ciclo Otto.

Específicos

1. Investigar cómo afecta el cambio de altitud a la disminución de oxígeno por unidad de aire.
2. Estudiar las causas de la pérdida de potencia en un motor de combustión interna ciclo Otto, debido al cambio de altitud.
3. Determinar cómo afecta la pérdida de potencia en el consumo de combustible.
4. Realizar pruebas en dos vehículos Mitsubishi OZ Rally-Edition, modificado y no modificado a diferentes altitudes, para estimar el consumo de gasolina por kilómetro recorrido.
5. Evaluar el aumento de costos en consumo de combustible, a diferente altitud.

6. Proponer una solución para el funcionamiento de los motores de combustión interna encendidos por chispa, en condiciones de falta de oxígeno por unidad de aire, sin perjudicar la eficiencia en condiciones normales de operación.

INTRODUCCIÓN

Debido a la altitud, las propiedades del aire varían. Entre los cambios más significativos está que, a mayor altitud, existe una menor cantidad de oxígeno por unidad de aire.

Guatemala es un país montañoso, a excepción del área de la costa sur y las tierras del norte en el departamento de Petén; dos cadenas montañosas dividen a Guatemala en tres regiones: las tierras altas, la costa del Pacífico y la región de Petén. Destacan en importancia las tierras altas, encontrándose la mayor altitud en el departamento de Totonicapán, que alcanza los 3 600 metros sobre el nivel del mar.

El 43 % de las tierras en Guatemala tienen una altitud de más de 1 500 metros y el 20 % de más de 3 000 metros. La altitud media sobre el nivel del mar es de 1 600 metros, esto hace que en varios lugares no se encuentre una cantidad estable de oxígeno por unidad de aire. Como consecuencia de esta variabilidad, los motores de combustión interna encendidos a chispa se ven afectados, pues para que su ciclo (termodinámico de Otto) sea eficiente debe contar con una cantidad de oxígeno específica por unidad de combustible.

La eficiencia de los motores de combustión interna encendidos por chispa se ve reducida por estas variaciones con pérdida de potencia, esto conlleva un gasto mayor de combustible, debido a que las condiciones que los fabricantes toman como referencia para diseñarlos (altitud a nivel del mar y temperatura ambiente en el rango de 15-20°C) son distintas a las encontradas en estas condiciones.

La siguiente investigación se centra en el estudio de los problemas producidos por la altitud en un motor de combustión interna encendidos por chispa del fabricante Mitsubishi Motor, tomando en cuenta los factores que afecten la pérdida de potencia y disminución del rendimiento de combustible. Con este estudio se hace una propuesta para contrarrestar dicha pérdida, sin afectar el rendimiento en condiciones normales de operación.

1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO

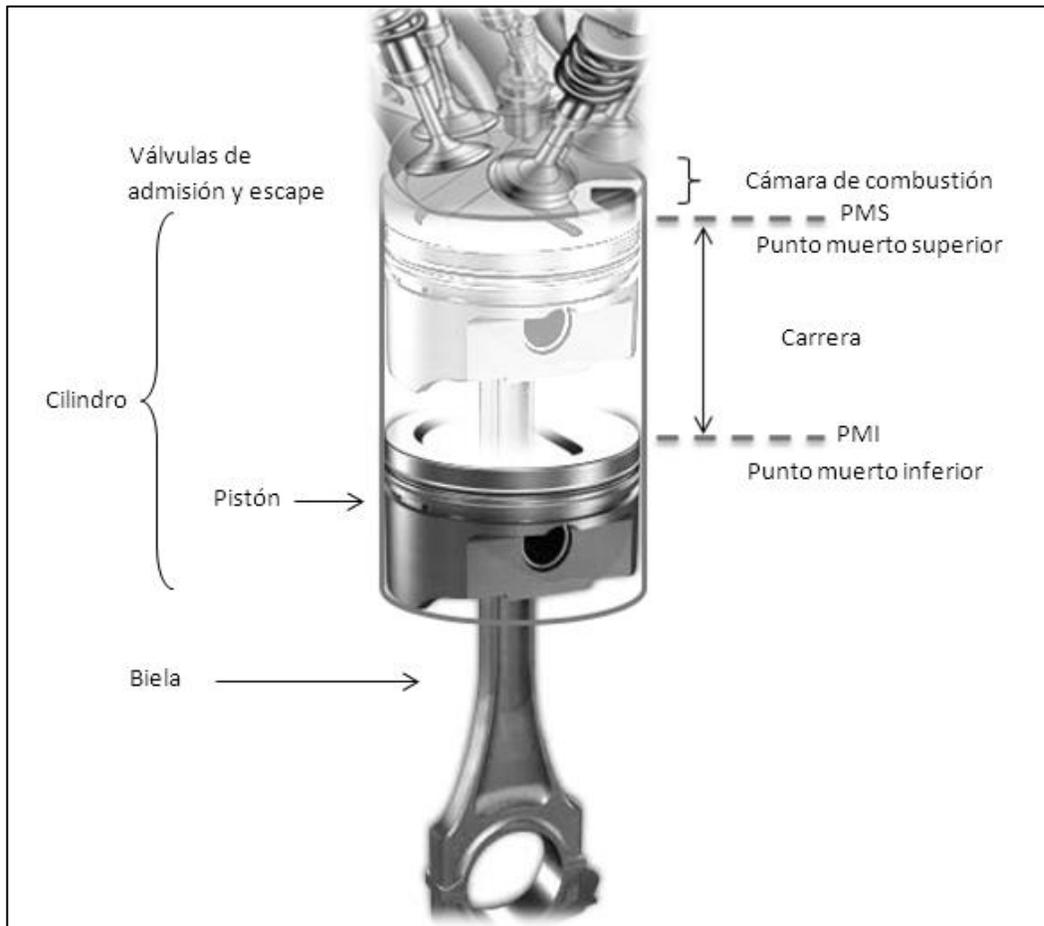
Como ya se hace mención, la presión atmosférica juega un papel importante en el funcionamiento de un motor de combustión interna (MCI) ciclo Otto, que varía dependiendo la altitud sobre el nivel del mar. En este capítulo se expone el funcionamiento del MCI ciclo Otto, así como, qué papel juega la altitud en el proceso de combustión, también se hace mención de los parámetros de construcción, que utilizan los diversos fabricantes de vehículos.

1.1. Funcionamiento básico del motor de combustión interna ciclo Otto

Se define motor de combustión interna, pues el combustible (en este caso gasolina) se quema dentro del mismo, en los cilindros o para ser más precisos en la cámara de combustión. El fenómeno que ocurre en los cilindros, se realiza en cuatro etapas, o carreras. Refiriéndose a la carrera como el movimiento del pistón, desde un límite inferior hasta un superior, los cuales se llaman punto muerto inferior (PMI) y punto muerto superior (PMS).

Los cuatro ciclos del pistón son llamados: admisión, compresión, expansión y escape (se denomina motor de cuatro tiempos, cuando es necesario que el cigüeñal de dos vueltas para completar un ciclo).

Figura 1. Esquema de un cilindro y pistón



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

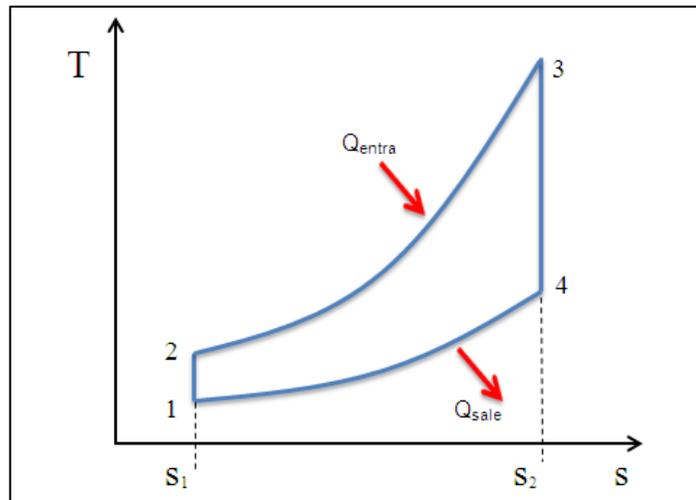
1.1.1. Ciclo termodinámico de Otto

Yunus Çengel y Michael Boles, se refieren al ciclo termodinámico de Otto, como el ideal para las máquinas recíprocas de encendido por chispa, también hacen mención que el ciclo recibe ese nombre en honor a Nikolaus A. Otto, quien en 1876 construyó una máquina de cuatro tiempos utilizando el ciclo propuesto por Frenchman Beau de Rochas en 1862.

En las máquinas encendidas por chispa el embolo ejecuta cuatro tiempos completos dentro del cilindro, y el cigüeñal realiza dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. El análisis termodinámico de un ciclo real de cuatro tiempos utilizando las suposiciones de aire estándar, resulta muy parecido a un ciclo de Otto ideal, el cual se compone de cuatro procesos reversibles internamente, que se describen a continuación:

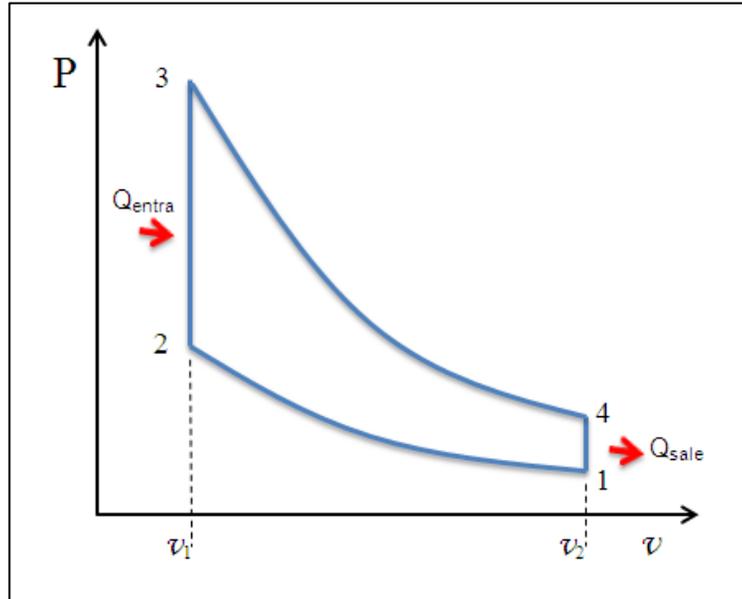
- Compresión isentrópica
- Adición de calor a volumen constante
- Expansión isentrópica
- Rechazo de calor a volumen constante

Figura 2. **Diagrama T-s para el ciclo termodinámico de Otto**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

Figura 3. Diagrama P-v para el ciclo termodinámico de Otto



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

1.1.2. Carrera de admisión

En el extremo cerrado del cilindro hay dos aberturas, o lumbreras, una de estas permite la entrada de la mezcla aire-combustible, y la otra se encarga de dar salida a los gases que resultan de la combustión (gases de escape). Cuando se da la admisión, la válvula que permite el ingreso aire-combustible, está abierta. Partiendo del PMS, el pistón empieza a descender al tiempo que la mezcla es aspirada, hacia el interior del cilindro a través de la abertura que deja la válvula ya mencionada. Realmente, el pistón no aspira la mezcla, sino que, es la presión atmosférica (o presión de aire) la que la obliga a penetrar en el cilindro.

La carrera de admisión del ciclo de Otto, empieza con el pistón en el PMS y a una presión de una atmosfera. Esta es una aproximación al proceso de admisión real en un motor de combustión interna, pues en realidad será una presión ligeramente inferior a la atmosférica, debido a la pérdida de presión en el flujo de entrada de aire.

Se puede concluir que, con base en las investigaciones de Crouse y Pulkrabek, la referencia para la presión de entrada en la carrera de admisión es una atmosfera, encontrándose solo a nivel del mar, incluso Pulkrabek menciona que la presión que realmente se usa es ligeramente menor que la presión atmosférica, pues tiene que pasar por el sistema de admisión para llegar al cilindro.

1.1.3. Carrera de compresión

Cuando el pistón llega al PMI, se cierra la válvula de admisión y empieza la carrera ascendente. La válvula de escape está también cerrada en esta carrera. El pistón comprime la mezcla que penetró durante la carrera anterior, contra la parte alta del cilindro; en el momento que el pistón llega al PMS, la mezcla habrá sido reducida a un séptimo (1/7) o menos de su volumen inicial (a esto se le llama relación de compresión).

1.1.4. Carrera de expansión

Cuando el pistón en su carrera de compresión alcanza el PMS, salta una chispa eléctrica en la bujía, esta chispa es la que inicia el encendido de la mezcla aire-combustible continuando la combustión muy rápidamente, en el interior del cilindro se alcanza una presión del orden de 600 Psi. Esto significa que los gases calientes están empujando cada pulgada cuadrada de la cámara

de combustión y la cabeza del pistón con una fuerza de 600 libras o más. Por lo tanto, si un pistón tiene siete pulgadas cuadradas de superficie, estará sometido a una fuerza de más de dos toneladas. Este enorme empuje contra la cabeza del pistón hace que este sea lanzado hacia el PMI y se transmite un impulso de potencia al cigüeñal.

1.1.5. Carrera de escape

Cuando el pistón llega al PMI en su carrera de expansión, se abre la válvula de escape, es decir, el pistón asciende y despeja el cilindro de los gases resultantes de la combustión. Al llegar de nuevo el pistón al PMS, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, para dar paso al inicio del ciclo.

También, cerca del final de la carrera de expansión, la válvula de escape se abre y los gases son expulsados, reduciendo la presión del cilindro a la presión del sistema de escape.

De las anteriores explicaciones, se determina que, también en la carrera de escape la presión atmosférica juega un papel importante.

Al contrario que en la carrera de admisión, aquí los gases salen por la diferencia de presión, siendo mayor la presión del cilindro que la presión atmosférica, de lo que se concluye que si la diferencia de presión es más grande, será más fácil la evacuación de los gases.

1.1.6. Alimentación de la mezcla aire combustible

En la carrera de admisión, cuando se produce el vacío en el interior del cilindro, es la presión atmosférica la que empuja el aire hacia el interior del mismo.

Este aire pasa antes de llegar al cilindro por el sistema de admisión y la abertura dejada por la válvula de admisión. Se podría pensar que la presión atmosférica (15 Psi o 1 054 Kg/cm² al nivel del mar) es lo suficientemente grande para empujar, a través de estos conductos, hasta el interior del cilindro, de forma casi instantánea; sin embargo, se precisa un tiempo apreciable para la circulación del mismo a través de sesiones restringidas.

El tiempo que tarda el aire para llenar el cilindro es el que dura una carrera de admisión, pero aun funcionando el motor al mínimo, el tiempo que dispone es extremadamente corto. Al ralenti (unas 350 RPM), el tiempo transcurrido en la carrera de admisión es inferior a una décima de segundo y a altas velocidades este tiempo se reduce a menos de una centésima de segundo, como lo explica William Crouse en su investigación.

Es, por lo tanto, obvio que el vacío creado en el cilindro (por el descenso del pistón) no será completamente llenado. Esto indica que la válvula de admisión se cerrará antes de que el cilindro esté totalmente lleno. A velocidades superiores la cantidad de mezcla que entra en el cilindro será todavía menor. Esta es una de las razones por las que un motor no aumenta su velocidad y potencia indefinidamente. Existe una cierta velocidad (RPM) para la cual un motor desarrolla la máxima potencia y será menor por debajo y arriba de la misma.

Cuando el aire es forzado a entrar al cilindro, en el sistema de admisión ocurre una inyección de combustible (motores de combustión interna ciclo Otto con inyección de combustible), que se mezcla con el aire con una relación que debería de ser de 14,7 partes de aire por 1 parte de combustible (en condiciones ideales). El oxígeno en el aire es el carburante para crear la combustión.

1.1.7. Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico es un proceso muy importante, que regula la cantidad de energía y rendimiento que pueden obtenerse en un motor de combustión interna. Al conseguir la mayor cantidad de aire en el cilindro durante cada ciclo se logra que más combustible haga combustión y más energía pueda convertirse en potencia de salida.

Obtener el volumen relativamente reducido de combustible líquido en el cilindro, es mucho más fácil que conseguir el gran volumen de aire necesario para reaccionar con el combustible.

Idealmente, una masa de aire con la misma densidad del aire atmosférico, de igual tamaño al volumen de desplazamiento del cilindro debe ser ingerida en cada ciclo. Sin embargo, debido al corto tiempo disponible del ciclo y a las restricciones de flujo presentado por el sistema de admisión, menos de esta cantidad ideal de aire entra en el cilindro.

Al igual que Pulkrabek, John Heywood menciona que el sistema de admisión compuesto por el filtro de aire, carburador, cuerpo de aceleración, múltiple de admisión y válvulas de admisión restringen la cantidad de aire que entra al cilindro, lo que da como resultado una variación de volúmenes, pues

entra menos de lo que realmente cabe en el cilindro. Entonces, el rendimiento volumétrico es la relación entre la cantidad de aire-combustible que entra al cilindro y la que podría entrar en condiciones ideales.

1.1.8. Efectos atmosféricos en un motor de combustión interna ciclo Otto

El principal efecto atmosférico producido en un motor de combustión interna ciclo Otto es la pérdida de potencia, pues aproximadamente se pierde un 10 % de potencia por cada mil metros sobre el nivel del mar, esto debido a que los motores son fabricados con parámetros de referencia tales como: presión atmosférica, altura sobre el nivel del mar, temperatura ambiente del aire de admisión. Estos parámetros son adoptados según normas internacionales (en este particular caso JIS, *Japan Industries Standards*).

Las normas especifican que la presión atmosférica debe ser de 1 atmosfera, la altura sobre el nivel del mar debe ser 0 metros; la temperatura ambiente de 15 °C, por lo que variando estos parámetros dará como resultado un cambio considerable en la potencia del motor.

1.1.9. Composición del aire y su comportamiento a diferente altitud

Aire es la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, el aire, al igual que otros gases, no tiene una forma fija. Se esparce y llena todo espacio disponible de manera que nada está realmente vacío. Pero el aire no puede escapar de la atmósfera dado que la fuerza de gravedad evita que se aleje de la tierra.

Está compuesto por 78 % de nitrógeno, 21 % oxígeno y 1 % de otras sustancias, ozono, dióxido de carbono, hidrógeno y gases nobles como criptón y argón; los porcentajes indicados expresan fracción en volumen, prácticamente igual a la fracción molar.

De la relación de aire-combustible ya mencionada, se tiene que siendo el oxígeno el carburante en la combustión, una nueva relación en este caso de oxígeno-combustible queda expresada como:

$$14,7 \text{ (partes de aire)} * 21 \%(\text{oxígeno en el aire}) = 4,116 \text{ (partes de oxígeno)}$$
$$4,116: 1 \text{ (partes de oxígeno por partes de combustible)}$$

La altitud afecta el aire de tal manera que, cambia su densidad dependiendo de la altitud en la cual se encuentre; esto es debido a que el aire es un fluido compresible y se ve afectado con el cambio de presión, esto influye directamente en su composición.

1.1.9.1. Presión atmosférica

Atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea el planeta y está compuesta principalmente por una mezcla de gases que se denominan aire.

Presión es la fuerza aplicada por unidad de área, entonces, la presión atmosférica es la fuerza ejercida por el aire sobre una unidad de área.

La presión atmosférica cambia de forma inversamente proporcional a la altitud. A nivel del mar es mayor la cantidad de aire, por lo que habrá mayor presión atmosférica, por el contrario, a mayor altitud hay menos aire por lo que habrá menor presión atmosférica. La magnitud de este cambio es de 10 KPa

por cada 1 000 metros de altitud aproximadamente. Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla I. **Altitud frente a presión atmosférica**

Altura en metros	Presión (KPa)	Presión (Bar)
0	101,325	1
1 000	89,875	0,89875
5 000	54,021	0,54021
10 000	26,436	0,26436
15 000	12,045	0,12045
20 000	5,475	0,05475

Fuente: CALVO, Diodora. *Ciencias de la tierra y el medio ambiente*.

<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/03AtmHidr/110Atmosf.htm#Humedad>.

Consulta: octubre 2017.

Según las leyes básicas de la química, en los lugares en los que menos presión hay, la misma cantidad de aire ocupará mayor cantidad de volumen, lo que significa que, en los lugares que se encuentran a mayor altitud en el mismo volumen, habrá menor cantidad de aire y, por consiguiente, menor cantidad de oxígeno.

La densidad del aire varía según la altitud y la temperatura tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II. **Densidad del aire según altitud y temperatura**

Altura (metros)	Temperatura (°C)	Presión		Densidad Kg/m ³	Porcentaje de perdida
		mmHG	Bar		
0	28	760	1.013	1,225	100
200	26	742	0.989	1,202	98,12
400	24	725	0,966	1,179	96,24
600	22	707	0,942	1,156	94,37
800	20	690	0,920	1,134	92,57
1 000	18	674	0,898	1,112	90,78
1 400	16	642	0,856	1,070	87,35
1 600	15	626	0,834	1,048	85,55
2 000	14	596	0,794	1,007	82,2
2 200	14	582	0,776	0,987	80,57
2 400	13	567	0,756	0,967	78,94
2 600	12	553	0,737	0,947	77,31
2 800	11	539	0,718	0,928	75,76
3 000	10	526	0,701	0,909	74,2

Fuente: GIACOSA, Dante. *Motores endotérmicos*. P.181.

Esto indica que el cambio de presión atmosférica, no solo afecta la pérdida de velocidad en el aire que entra por el sistema de admisión, sino que también influye en una menor cantidad de oxígeno en el mismo volumen que entraría en condiciones normales, necesitando así, mucho más aire para lograr la relación oxígeno-combustible ya antes mencionada.

1.2. Mitsubishi 4G94

El motor de combustión interna ciclo Otto 4G94, es una versión construida en Japón, que se utiliza en el Mitsubishi Lancer. Es un motor de cuatro cilindros, bloque del motor de hierro fundido, inyección de combustible multipunto, cabeza del motor SOHC de aluminio, bielas de acero forjado y cuatro válvulas por cilindro.

Figura 4. **Motor de combustión interna ciclo de Otto Mitsubishi 4G94**



Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Especificaciones técnicas del motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94

El Mitsubishi Lancer Oz-Rally Edition tiene un motor de 4 cilindros, el desplazamiento del motor es de 2,0 litros. Cada cilindro tiene 4 válvulas, los cilindros están dispuestos en línea dentro del bloque del motor, la carrera del

pistón es de 95,80 mm y diámetro de 81,50 mm, la relación de compresión es 10,6:1. Utiliza cárter húmedo como sistema de lubricación.

El motor es del tipo árbol de levas simple sobre la cabeza (SOHC) así como de aspiración natural o atmosférica, tiene una orientación transversal y se ubica en la parte delantera del auto. Tiene una inyección electrónica multipunto como sistema de combustión (utiliza un inyector de combustible por cada cilindro), esto significa que utiliza una unidad de control electrónica (ECU) para procesar los datos que recibe de los diferentes sensores y actuadores que ejecutan sus comandos para realizar la combustión.

La potencia máxima producida por el motor es 122 HP a 5 500 RPM, y el torque máximo es 130 pie-libras a 4 250 RPM. En la siguiente tabla se hace una descripción de las especificaciones técnicas del motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94.

Tabla III. **Ficha técnica motor 4G94**

Motor	4G94 2,0 litros (1999 cc)
Tipo de motor	SOHC, 16 válvulas, 4 cilindros
Válvulas por cilindro	4
Potencia máxima	122 HP @ 5500 RPM
Torque máximo	129,35 ft-lbs @ 4250 RPM
Diámetro pistón por longitud movimiento	81,5 x 95,8 mm (3,18 x 3,8 in)
Relación de compresión	10,6:1

Fuente: *Mitsubishi Motors Corporation, Engine 4G94 Workshop.*

Es evidente que, con el cambio de presión atmosférica a diferente altitud, los motores de combustión interna ciclo Otto, se ven afectados, por lo que, los fabricantes realizan estudios para evitar que la falta de oxígeno por las distintas condiciones, tanto de presión como altitud, tengan un gran impacto en el rendimiento de los mismos. En este caso el motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94.

El motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94 cuenta con sensores que permiten la variación de combustible para diferentes presiones atmosféricas, pues para mantener la relación de oxígeno-combustible a diferentes altitudes, es necesario que se compense la cantidad de combustible que se inyecta.

En condiciones a nivel del mar la presión atmosférica tiene una magnitud de 101,325 kilo pascales. Entonces, los sensores informan a la unidad de control electrónico (ECU), bajo qué condiciones se encuentra para mantener la relación de oxígeno-combustible estable, pues esta es la presión a la que se diseñan los motores de combustión interna ciclo Otto.

Por el contrario, a una altitud de 1 000 metros sobre el nivel del mar, la presión atmosférica es 89,875 kilo pascales, debido a esto la unidad de control electrónico debe mandar menos combustible a los cilindros. Los sensores que más influyen en la pérdida de potencia y disminución del rendimiento de combustible cuando hay variación de altitud y presión atmosférica, son:

- Sensor de flujo másico de aire
- Sensor de la presión absoluta del múltiple de admisión
- Sensor de oxígeno o sonda landa
- Sensor de posición del acelerador

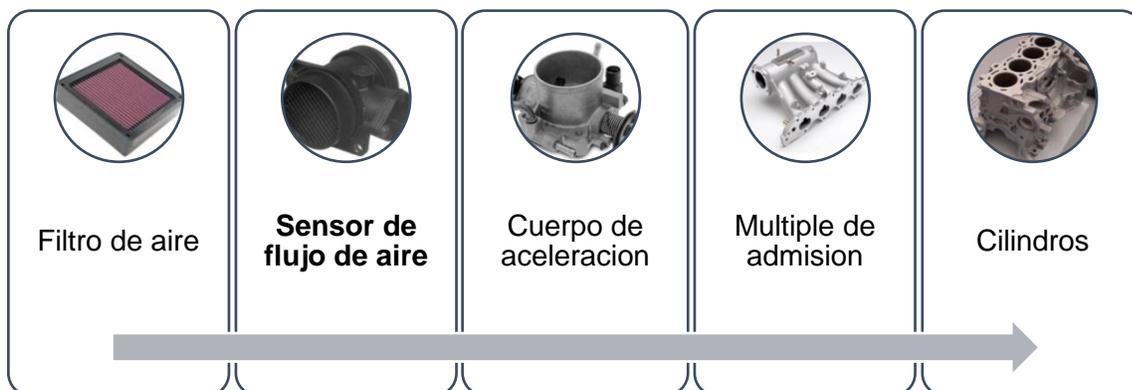
1.2.2. Sensor de flujo másico de aire

El sensor de flujo másico de aire mide directamente el volumen de aire que ingresa por el ducto de admisión, este se encuentra situado entre el filtro de aire y el cuerpo de la mariposa de aceleración.

Su misma función hace que se necesite de otro sensor para determinar la altitud a la que se encuentra el vehículo, pues como bien se menciona en este capítulo, en los lugares que se encuentran a mayor altitud en el mismo volumen, habrá menor cantidad de aire y, por consiguiente, menor cantidad de oxígeno.

En la siguiente figura se muestran los componentes por los que pasa el aire antes y después del sensor de aire.

Figura 5. **Proceso de entrada de aire a los cilindros**



Fuente: elaboración propia.

La salida de la señal del flujo másico de aire debe ser proporcional a la cantidad de aire ingresada, para que la unidad de control electrónico proporcione la señal a los inyectores de aumentar la cantidad de combustible o disminuirla dependiendo de las condiciones de funcionamiento.

Existen tres tipos de sensores de flujo de aire, los cuales son:

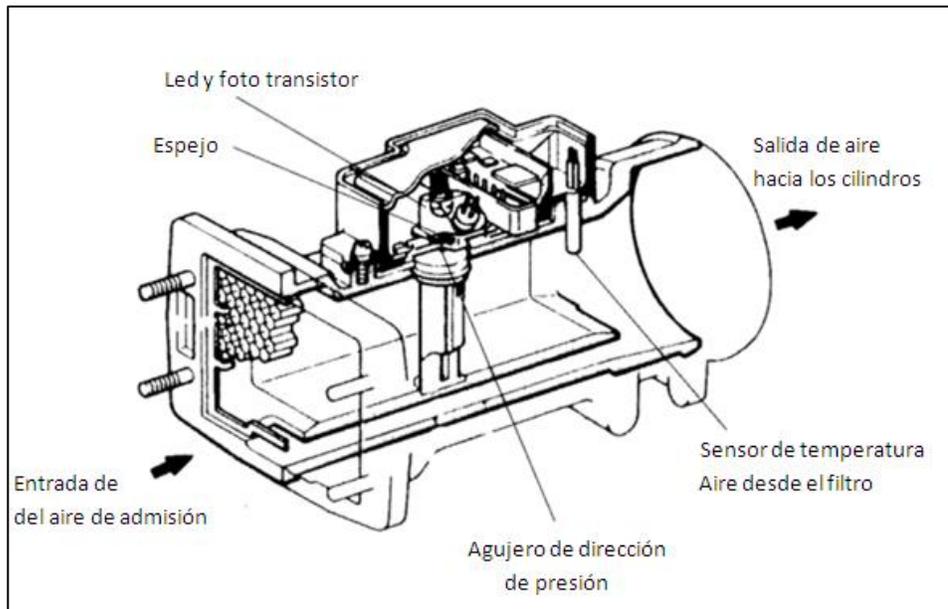
- Sensor de flujo másico de aire
- Sensor de flujo de aire de aleta
- Sensor de flujo de aire por vórtice

En el motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94, se utiliza un sensor de flujo de aire por vórtice llamado Kármán Vortex, que utiliza una corriente de aire centrada en un generador de vórtice cónico para crear vórtices de aire.

En primer lugar, la corriente de aire pasa a través de una rejilla de panal para enderezar el flujo de aire y reducir la turbulencia.

Un transmisor y un receptor envían y reciben una señal, ya sea luz infrarroja u ondas ultrasónicas. La cantidad de distorsión de la señal causada por los vórtices, cuya frecuencia aumenta con el flujo de aire, se mide y se compara con un conjunto de datos conocido, con los cuales se hace una evaluación sobre el flujo de aire. En la siguiente figura se ve un medidor de flujo de aire Kármán Vortex y sus partes.

Figura 6. Diagrama de un sensor de flujo Kármán Vortex



Fuente: Toyota service blog.

1.2.3. Sensor de presión absoluta del múltiple

Los sensores de presión se utilizan para medir la presión del múltiple de admisión, la presión atmosférica y la presión de vapor en el tanque de combustible. Aunque la ubicación es diferente y son varias las presiones que se miden, los principios de funcionamiento son similares.

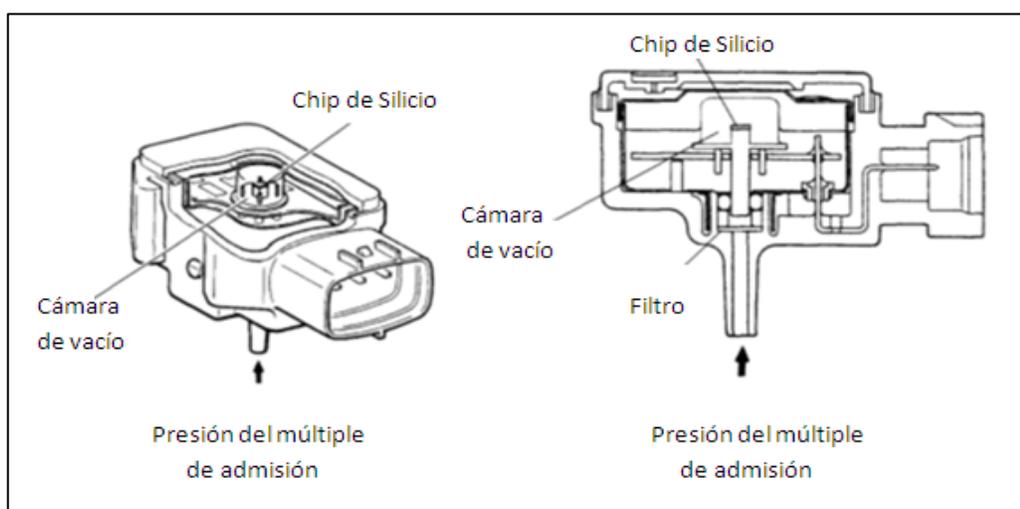
En el sensor de presión absoluta del múltiple (MAP) hay un chip de silicio montado dentro de una cámara de referencia, en un lado del chip hay una presión de referencia; esta presión de referencia es o bien un vacío perfecto o una presión calibrada, dependiendo de la aplicación. Por el otro lado, está la presión por medir. El chip de silicio cambia su resistencia dependiendo los cambios en la presión.

El chip de silicio cambia su resistencia eléctrica cuando cambia la presión, este cambio en la resistencia altera la señal de tensión. La unidad de control electrónico interpreta la señal de tensión como la presión y cualquier cambio en la señal de tensión significa un cambio en la presión.

La presión del múltiple de admisión es una relación directa con la carga del motor. La unidad de control electrónica tiene que saber la presión del múltiple de admisión en conjunto con el volumen de aire para calcular la cantidad de combustible por inyectar, de esta manera la unidad de control sabe la cantidad de oxígeno que está dentro del volumen de aire que ingresa al sistema, porque dependiendo la altura habrá una densidad de aire diferente.

El sensor de presión absoluta del múltiple se encuentra, ya sea directamente en el múltiple de admisión o está montado en la pared de fuego y conectado al múltiple de admisión con una manguera de vacío.

Figura 7. **Diagrama de un sensor de presión absoluta del múltiple (MAP)**



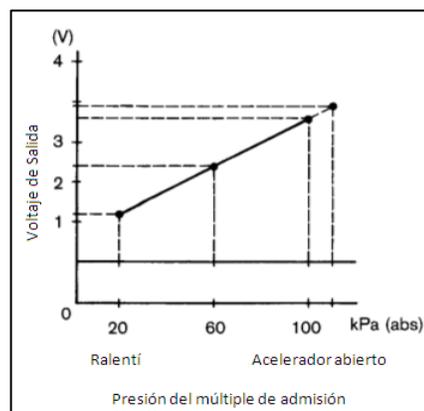
Fuente: *Toyota service blog*.

El sensor MAP utiliza un vacío perfecto como una presión de referencia, la diferencia de presión entre la presión de vacío y la presión del múltiple de admisión cambia la señal de tensión, convirtiendo así, los cambios de presión en señal de voltaje. Un cambio de presión atmosférica es fácilmente detectado por el sensor MAP, que transmite la señal a la unidad de control electrónico para regular la cantidad de combustible que se utiliza.

El voltaje que transmite el sensor MAP es más alto cuando la presión del múltiple de admisión es alto (cuando se enciende el motor, se apaga o cuando se acelera) y el voltaje es más bajo cuando la presión es menor (cuando no se acelera). Estas presiones se ven afectadas también por el cambio de altitud.

Como se observa en la siguiente gráfica, el voltaje de salida del sensor MAP aumenta de forma proporcional a la presión en el múltiple de admisión, mientras más grande es la presión mayor será el voltaje que emita el sensor a la unidad electrónica de control.

Figura 8. Gráfica de voltaje de salida frente a presión del múltiple de admisión



Fuente: *Toyota service blog.*

1.2.4. Sensor de oxígeno o sonda lambda

La ECU utiliza un sensor de oxígeno para asegurar la relación de aire combustible para el convertidor catalítico, con base en la señal del sensor de oxígeno, la ECU ajusta la cantidad de combustible que es inyectado en el flujo de aire de admisión. Hay diferentes tipos de sensores de oxígeno, pero dos de los tipos más comunes son:

- El sensor de oxígeno de rango estrecho, es el estilo más antiguo, llamado simplemente sensor de oxígeno.
- El sensor de oxígeno de amplia gama, que es el nuevo estilo, llamado sensor de relación de aire-combustible (utilizado en el vehículo Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition)

Los vehículos con OBD II como es el caso del Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition, requieren de dos sensores de oxígeno, uno antes y otro después del convertidor catalítico. El sensor antes del convertidor catalítico se utiliza por la ECU para ajustar la relación de aire-combustible y el sensor que está después del convertidor catalítico se utiliza por la ECU, principalmente para determinar la eficacia del convertidor catalítico.

El sensor de oxígeno monitorea el contenido de este en el escape, cuando es alto, la salida de voltaje del sensor de oxígeno es bajo y cuando el contenido de oxígeno de escape es bajo, la salida de voltaje del sensor es alta.

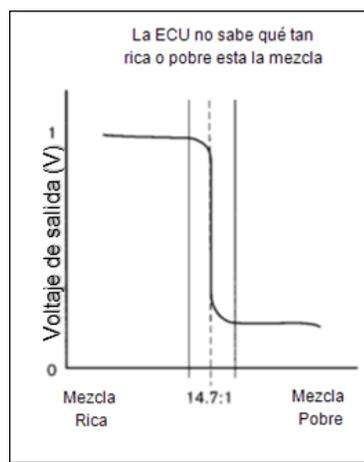
Cuanto mayor sea la diferencia en contenido de oxígeno entre la corriente de escape y la atmósfera, mayor será la señal de voltaje que el sensor de oxígeno envíe a la ECU.

Por el contenido de oxígeno, la ECU puede determinar si la relación aire-combustible es rica o pobre, fabricado con dióxido de zirconio que a temperaturas superiores a los 300° C se comporta como un conductor eléctrico y este varía su voltaje dependiendo del oxígeno con el que esté en contacto. Una mezcla rica consume casi todo el oxígeno, por lo que el voltaje en la señal es alta, en el intervalo de 0,6 - 1,0 V.

Una mezcla pobre tiene más oxígeno disponible después de la combustión, por lo que la señal de voltaje es baja (0,4 - 0,1 V). En la relación estequiométrica aire-combustible (14,7: 1), el sensor de oxígeno tiene un voltaje de salida de aproximadamente 0,45 V.

Como hace referencia el artículo de *Toyota motor sales, U.S.A. (11), Inc.*, el sensor de oxígeno trabaja como un interruptor, pues solo detecta si hay mezcla rica y pobre y no una cantidad específica como se muestra en la figura siguiente.

Figura 9. **Gráfica de la lectura del sensor de oxígeno**



Fuente: *Toyota service blog.*

1.3. Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition

El impacto de Mitsubishi en el segmento de los sedanes compactos en los Estados Unidos de América era muy pequeño, pero con la llegada del Mitsubishi Lancer todo cambió. Con un estilo más cercano a los otros sedanes de Mitsubishi, el Galant y Diamante, es significativamente más grande que el Mirage, sin ser demasiado grande para su comodidad y economía.

También Carey Russ menciona que al Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition. Aunque definitivamente no es un auto de rally, pero tampoco es solo un transporte básico, es un sedán pequeño y acogedor, espacioso y muy cómodo, lo que lo hace un auto muy popular por su comodidad, apariencia, manejabilidad, seguridad y rendimiento.

Figura 10. **Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003**



Fuente: Official website of the new car buyer.

En la siguiente tabla se hace una descripción de las especificaciones técnicas del automóvil Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition.

Tabla IV. **Ficha técnica Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition**

Modelo	Lancer OZ-Rally Edition
Año de fabricación	2002 - 2003
Categoría	Familiar
Tracción	Delantera
Número de asientos	5
Chasis	Sedan
Peso del vehículo	1 225 kg (2687,20 libras)
Longitud del vehículo	4 590 mm (179,80 in)
Ancho del vehículo	1 700 mm (66,57 in)
Altura del vehículo	1 400 mm (54,82 in)
Distancia entre el vehículo y el suelo	150 mm (5,87 in)
Distancia entre ejes	2 550 mm (99,90 in)
Capacidad del tanque de combustible	50.0 litros (13,14 galones)
Consumo de combustible ciudad	27 MPG (43 Km por galón)
Consumo de combustible carretera	33 MPG (53 Km por galón)
Consumo de combustible combinado	29 MPG (46 Km por galón)

Fuente: *Mitsubishi Motor Sales of America, Inc. Copyright 2002.*

2. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO TURBO ALIMENTADO

Un motor de combustión interna ciclo Otto turbo alimentado, utiliza la energía cinética aun contenida en los gases de escape, que es aproximadamente la tercera parte de la energía potencial total que posee el combustible, energía que de otra manera se perdería. Esta energía hace funcionar el sistema del turbocompresor incrementado considerablemente la potencia del motor.

La pérdida de potencia por el cambio de altitud está relacionada directamente con la disminución de la presión atmosférica, pero si la presión que entra a los cilindros se mantiene constante o por arriba de la presión atmosférica, la pérdida de potencia será mínima e incluso no habrá como tal.

Por mucho que se aumente el combustible que llega al interior de la cámara de combustión, no se consigue aumentar la potencia si este no tiene aire suficiente para quemarse. Así pues, solo se aumentará la potencia si se logra introducir en los cilindros un volumen de mezcla aire-combustible mayor que el que entra en un MCI ciclo Otto de aspiración natural. En este capítulo se comparan los MCI ciclo Otto de aspiración natural y los sobrealimentados, así como, las causas por las cuales la altitud no afecta de igual manera los MCI ciclo Otto sobrealimentados.

2.1. Funcionamiento de un motor de combustión interna ciclo Otto turboalimentado

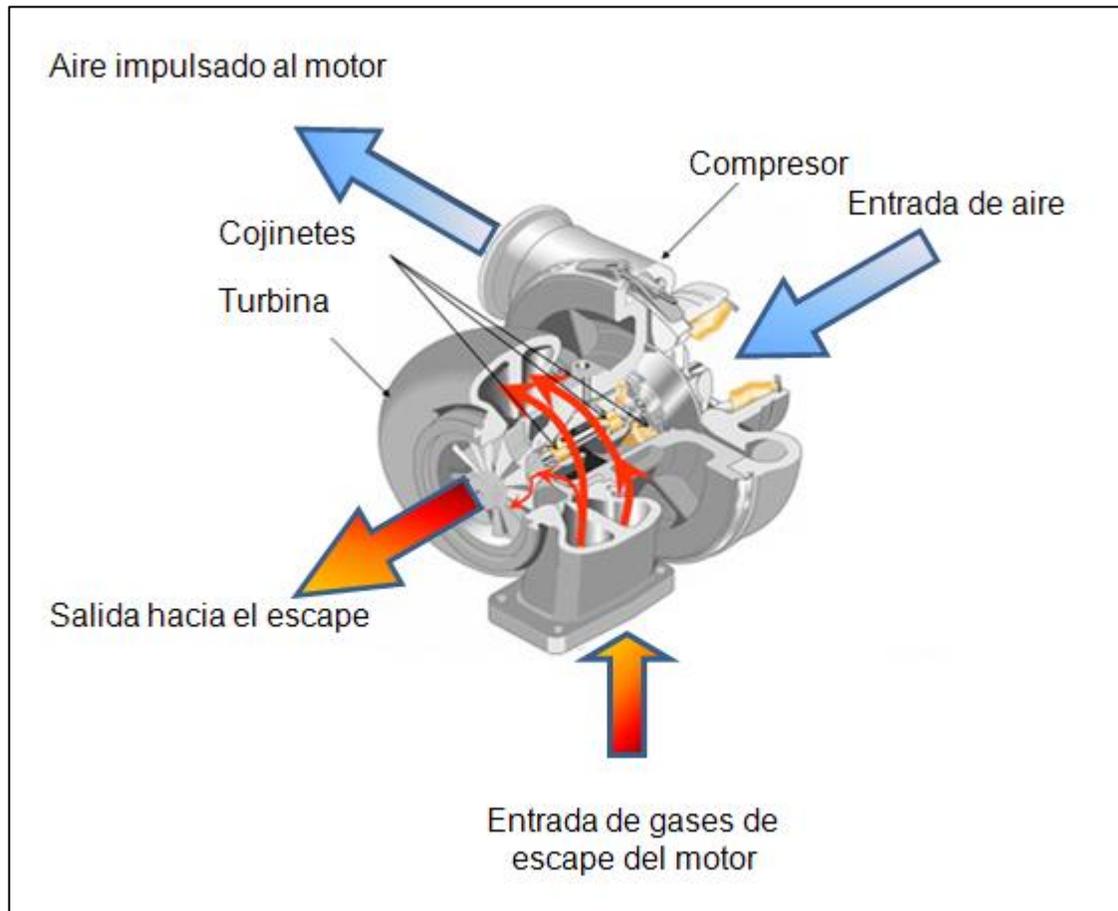
El MCI turboalimentado tiene el mismo funcionamiento básico del MCI de aspiración natural, pero a diferencia de este, el MCI turboalimentado utiliza un turbocompresor, que aprovecha la energía cinética de los gases de escape y la utiliza para accionar el turbocompresor.

De acuerdo con la investigación de Willard Pulkrabek, un turbocompresor es un sistema de sobrealimentación que usa una turbina centrífuga para accionar mediante un eje coaxial con ella un compresor centrífugo para comprimir gases. La turbina recibe sobre sus álabes el empuje de los gases de escape del MCI que la pueden hacer girar hasta 100 000 RPM, el compresor girará al mismo régimen succionando aire del exterior y enviándolo a presión hacia el múltiple de admisión que alimenta los cilindros, llenándolos plenamente sin importar la presión atmosférica.

Debido a las altas velocidades, alta temperatura junto con los gases corrosivos que operan dentro de la turbina, se necesita de un buen diseño mecánico y de lubricación.

Los turbocompresores se deben montar lo más cerca posible del múltiple de escape, de modo que la presión de entrada de la turbina, la temperatura, y la energía cinética sean lo más altas como sea posible. En la siguiente imagen se detallan las partes de un turbocompresor:

Figura 11. **Esquema de un turbocompresor**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

2.1.1. Admisión en un motor turboalimentado

Luego que se produce la combustión, los gases del escape penetran en el turbocompresor y aplican fuerza a las hélices de la turbina haciéndola girar. Estos gases luego de actuar en el centro de la turbina, continúan su camino hacia el sistema convencional de escape.

En el lado opuesto del eje de la turbina se encuentra el compresor del turbo. El compresor absorbe aire a la presión atmosférica y lo comprime para aumentar esta presión. Seguidamente, el aire comprimido es enviado al múltiple de admisión y a los cilindros.

De modo que, siempre que el motor se encuentre en funcionamiento, también la turbina estará girando. Sin embargo, a bajas revoluciones por minuto, el motor absorberá el aire con mayor rapidez de lo que el compresor lo puede comprimir. Como resultado de esto, la presión en el múltiple será inferior a la presión atmosférica; esto origina un vacío en el sistema de admisión como un MCI de aspiración natural, tal y como, se hace referencia en el capítulo anterior.

A medida que aumenta la velocidad del motor, también se incrementa el volumen de los gases del escape. Llegado cierto punto, el volumen de los gases del escape es tal que el compresor será capaz de bombearlo con mayor velocidad que el motor puede utilizarlo. Por lo tanto, el vacío existente en el múltiple desaparece y se presenta una condición de alta presión.

Cuando en el múltiple de admisión se desarrolla esta presión, la condición se describe como la etapa de impulso. Esta presión positiva contenida en el múltiple de admisión aporta ciertos beneficios para que el motor reciba un incremento de potencia.

Un momento antes de que se inicie la carrera de admisión, el aire limpio penetra en las cámaras de combustión contribuyendo a que desaparezca cualquier residuo de gas y se enfríen las cabezas de los cilindros, los pistones, las válvulas y, en cierta medida, los gases del escape.

2.1.2. Compresión en un motor turboalimentado

Al igual que en un MCI de aspiración natural, el tiempo de compresión se da cuando las válvulas, tanto de admisión como escape, están cerradas y el pistón comienza su carrera ascendente, comprimiendo la mezcla hasta llegar al PMS, con la diferencia que existe una mayor cantidad de mezcla debido a que el turbocompresor forzó la entrada de más aire al cilindro.

El aire que entra en el compresor está a una temperatura equivalente a la de la atmósfera, sin embargo, como la compresión hace que la temperatura del aire se eleve y debido a que los gases de escape son los que mueven la turbina, el aire sale del compresor a temperaturas de hasta 200°C. El incremento de la temperatura ayuda a una mayor vaporización del combustible, también aumenta la tendencia a detonaciones (la mezcla aire combustible explota antes que el pistón este en su punto máximo, pues con una mayor temperatura el combustible no es capaz de soportar la compresión y la mezcla explota antes).

Cuando un MCI cuenta con un turbocompresor; es frecuente, que el aumento de la relación de compresión pueda producir golpeteo, debido a esto, los MCI turboalimentados tienen una relación de compresión relativamente baja y en la actualidad cuentan con un sensor llamado Sensor de golpe. Este sensor envía una señal a la ECU, para que retarde el tiempo de encendido y así se pueda comprimir la mezcla aire combustible y no haga combustión antes de tiempo.

2.1.3. Expansión en un motor turboalimentado

En el capítulo anterior se menciona que, cuando el pistón en su carrera de compresión alcanza el PMS, salta una chispa eléctrica en la bujía, esta chispa es la que inicia el encendido de la mezcla aire-combustible. También del capítulo anterior se sabe que el pistón en su carrera de admisión genera una diferencia de presión, que es llenada a través de la válvula de admisión por el peso de la presión atmosférica.

En un MCI turboalimentado, la diferencia de presión creada en la carrera de admisión, es llenada por el turbocompresor, y no por la presión atmosférica. Esto es debido a que, un motor adquiere más potencia, si en el tiempo de admisión que es realmente corto, le ingresa más mezcla de aire-combustible aumentando así la relación de compresión.

Se dispone de un tiempo realmente corto, tiempo en el cual el cilindro no se llena por completo debido a que la presión atmosférica no es suficiente para realizar esta tarea. Con el turbocompresor se logra ingresar aire comprimido al cilindro, por lo que, no importando el tiempo de llenado será mucho más aire el que ingrese al cilindro, pues lo empuja una presión mucho mayor que la presión atmosférica.

2.1.4. Escape en un motor turboalimentado

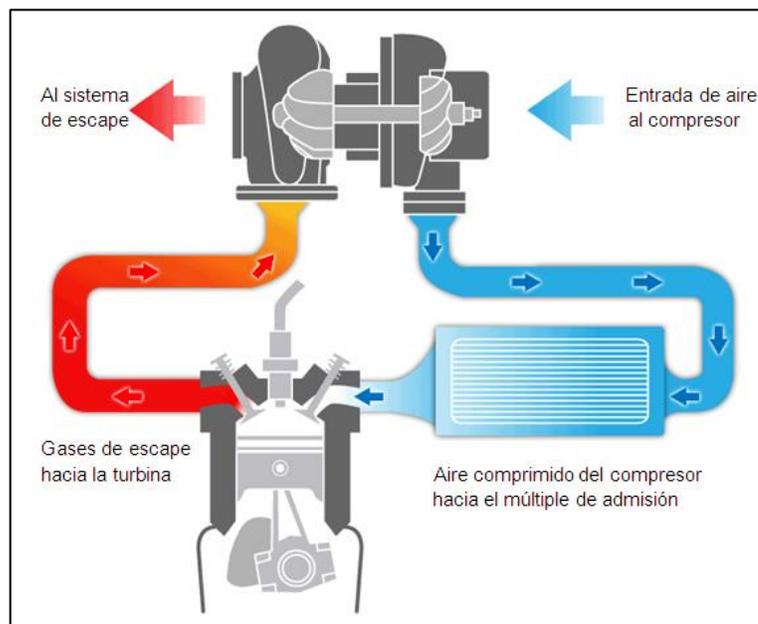
Al finalizar la carrera de expansión, se abren las válvulas de escape dejando salir los gases de escape de los cilindros y haciéndolos llegar al múltiple de escape, para luego pasar por los alabes de la turbina y hacerla girar para que a su vez gire el compresor.

Es imprescindible que se le ponga un límite a la presión que suministra el turbocompresor. Si no se tomara esto en cuenta, el motor se vería sometido a presiones más altas y a temperaturas superiores a las que puede tolerar.

Una forma de limitar la presión que genera el turbocompresor, consiste en utilizar un diafragma con una válvula regulada por la presión. Esta válvula le permite a los gases hallar otra salida, sin pasar por los alabes de la turbina, y fluir directamente al sistema de escape.

En la siguiente figura, se muestra como los gases de escape son los que accionan la turbina y esta, a su vez, el compresor para que el aire que ingrese al múltiple de admisión, esté a una presión mayor que la atmosférica.

Figura 12. **Esquema del funcionamiento de un MCI turboalimentado**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

2.1.5. Comparación de un motor de combustión interna turboalimentado contra uno de aspiración natural, ambos encendidos por chispa

La compañía especializada en turbocompresores, Borg Warner Turbo Systems, señala que a diferencia de un MCI de aspiración natural de idéntica potencia, el consumo de combustible de un MCI turboalimentado es inferior, en tanto que la energía de escape que normalmente se perdería contribuye al rendimiento del MCI. Debido al menor desplazamiento volumétrico del MCI turboalimentado, las pérdidas térmicas y por fricción son inferiores.

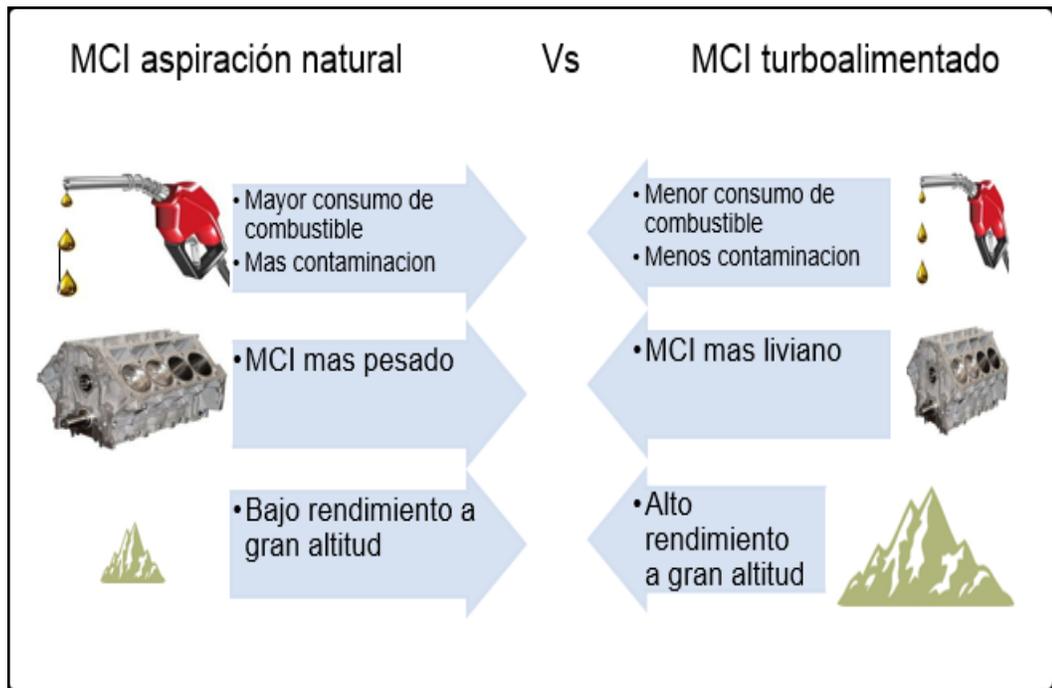
También hace mención a que la relación peso-potencia, es decir potencia/kilogramo (peso del motor), del MCI turboalimentado por gases de escape es mucho mejor que la de un MCI de aspiración natural, debido a que, para generar una potencia de 120 Hp, un MCI de aspiración natural tendría que tener una cilindrada de 2,0 litros, mientras que para generar la misma potencia un MCI turboalimentado tendría una cilindrada de 1,3 litros aproximadamente cuyo peso es 2/3 del MCI de aspiración natural.

A diferencia de un MCI de aspiración natural de idéntica potencia, el consumo de combustible de un MCI turboalimentado es inferior, debido a que, la energía cinética contenida en los gases de escape que normalmente se perdería contribuye al rendimiento del MCI (si se hace la comparativa en relación al mismo peso y no a la misma cilindrada).

Debido al menor desplazamiento volumétrico del MCI turboalimentado, las pérdidas térmicas y por fricción son inferiores, esto en conjunto con menor consumo de combustible significa, menor cantidad de contaminación por los gases de escape, que son en gran parte dañinos para el medio ambiente.

En el siguiente esquema se comparan las ventajas y desventajas de un MCI de aspiración natural y un MCI turboalimentado de igual potencia.

Figura 13. **Comparación de un MCI aspiración natural frente a MCI turboalimentado**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

Por el contrario si se compara dos motores de igual cilindrada, existirá una gran diferencia pues el motor turbo alimentado tendrá una mayor potencia, mayor consumo de combustible, mayor peso aunque siempre conservará su alto rendimiento a gran altitud respecto del motor de aspiración natural.

2.2. Efectos atmosféricos en un motor de combustión interna ciclo Otto turboalimentado

Como se menciona en el capítulo anterior, la presión atmosférica es el peso del aire, este varía según la altitud a la que se encuentre. Si está a nivel del mar, el peso del aire ejerce una presión de aproximadamente 101 325 KPa, en la medida que cambia la altitud, esa magnitud va disminuyendo. Por otra parte, la concentración de oxígeno (que actúa como carburante para que la gasolina logre la combustión) en el aire también varía según la altitud, muchas partículas de oxígeno a nivel del mar y menos conforme aumenta la altitud.

Estos dos factores afectan la operación de un MCI, cada vez que el pistón desciende dentro del cilindro, provoca un vacío que, a su vez, succiona aire hacia la cámara de combustión. Esta entrada de aire la favorece la presión atmosférica, obviamente que al nivel del mar, un motor va a entregar el 100 % de su potencia (de acuerdo con las especificaciones de fábrica); pues sus cilindros se llenarán plenamente. El llenado irá siendo menor conforme la altitud vaya aumentando y su potencia se verá disminuida.

El comportamiento de un MCI turboalimentado a gran altitud mejora notablemente, como existe menos presión atmosférica a mayor altitud, la pérdida de potencia en un MCI de aspiración natural es considerable; por el contrario, el rendimiento del MCI turboalimentado mejora con la altitud, dado que existe una mayor diferencia entre la presión de entrada y la presión de salida.

3. COMO MEJORAR EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO MITSUBISHI 4G94

En los capítulos uno y dos, se mencionan las diferentes causas de la pérdida de potencia en un MCI ciclo Otto relacionadas con el cambio de altitud.

En este capítulo se analizará de forma teórica, qué afecta más a la pérdida de potencia de un MCI ciclo Otto, por un lado, si es la disminución de la presión atmosférica o el cambio de densidad del aire que da como resultado la disminución de oxígeno.

También se analizarán algunos dispositivos para aumentar la potencia de un MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94, tomando en cuenta que un aumento de potencia aumentará el consumo de combustible, haciendo de este un limitante para el aumento de potencia del MCI ciclo Otto.

La presión que realmente se usa es ligeramente menor que la atmosférica, pues tiene que pasar por el sistema de admisión para llegar al cilindro, un sistema de admisión que dificulta en gran medida la entrada del aire, por lo que, disminuyendo las restricciones de entrada se conseguirá, aumentar la presión en el sistema de admisión. Consecuentemente, si se tiene más aire en la entrada será necesario que en el tiempo de escape se logre una mejor evacuación de los gases.

Con el aumento de la presión atmosférica en el sistema de admisión debido a la falta de restricciones, entrará más aire a la cámara de combustión,

lo que se traduce a un aumento de combustible que es necesario para mantener la relación aire-combustible (14,7:1) ya antes mencionada.

Con el aumento de combustible se pretende alcanzar la potencia perdida debido a la altitud, este es un claro aumento de consumo de combustible, que no debe ser mayor que el aumento en el consumo de combustible por perdida de potencia.

3.1. Accesorios para aumentar el rendimiento de los motores de combustión interna encendidos por chispa

Lograr un alto rendimiento en un MCI ciclo Otto se considera toda una ciencia. Más grande no siempre significa mejor y los simples números, como el aumento de potencia no garantiza el rendimiento; las mejoras deben aplicarse a todo el vehículo, dichas mejoras de rendimiento se deben complementar entre sí, perfeccionado el propósito y el tipo de desempeño deseado para el vehículo.

Hay varias categorías de modificación, cada una depende del sistema a mejorar, sin embargo, giran en torno a un concepto simple admisión y escape, el resto son modificaciones de apoyo, que ayudan a una transferencia más eficiente de la energía obtenida y su transferencia a la superficie.

La aspiración y escape conforman el sistema más importante, debido a que en un MCI ciclo Otto donde no hay aire no puede haber combustión, por lo tanto, la capacidad de un motor de aspirar y exhalar el aire (admisión y escape) define en gran medida su rendimiento. Si se toma en cuenta la relación de aire-combustible, se tiene que, a más aire más combustible, por lo que se debe cuidar no liberar demasiado el sistema de admisión, para que la ECU no envíe más combustible del deseado.

El complemento del sistema de admisión es el sistema de escape, pues cuanto más aire entra, más gas de escape será necesario expulsar. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que, si la salida del gas de escape es muy libre, no podrá vencer la presión atmosférica al final del sistema de escape.

Las modificaciones del sistema de admisión y escape son importantes, porque, son los componentes de la primera y última carrera en el proceso de funcionamiento de un MCI ciclo Otto. Sin una apertura y salida adecuada, todas las mejoras de rendimiento en el medio no importan.

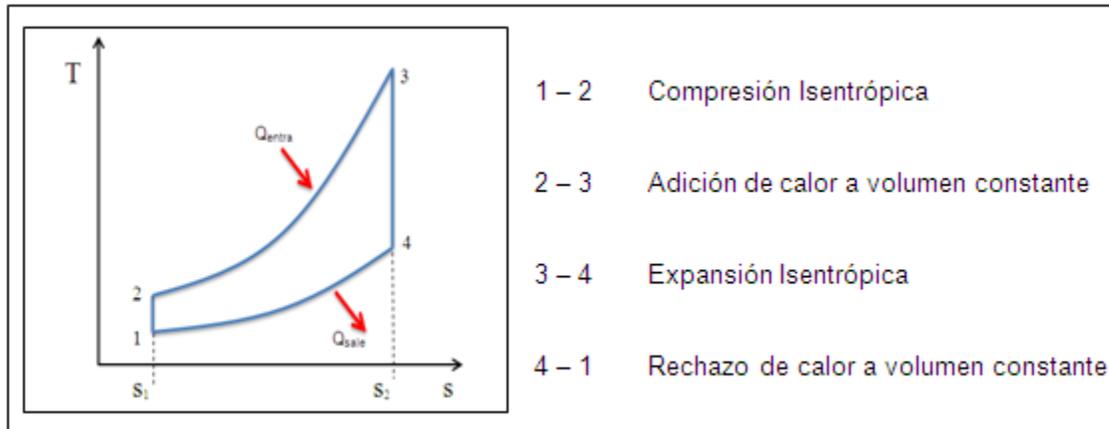
El sistema de admisión y el sistema de escape de fábrica son restrictivos, en parte debido a las regulaciones estrictas de emisión, al momento de la liberación de estos sistemas, puede proporcionar cantidades de energía y posibilidades de mucha más potencia, no significando así, mejoras del rendimiento.

Actualmente, existe una gran variedad de accesorios para aumentar el rendimiento de los vehículos, estos accesorios son denominados *Bolt-on*, que se refiere a los accesorios que reemplazan a los de fábrica sin hacer ninguna modificación, pero con la diferencia de que aumentan el rendimiento de los MCI ciclo Otto, estos accesorios pueden ser del sistema de admisión o escape.

3.2. Comportamiento del ciclo de Otto variando la temperatura del aire

El ciclo termodinámico de Otto, como ya se anota en el capítulo uno, se emplea para el análisis termodinámico de un ciclo real de cuatro tiempos utilizando las suposiciones de aire estándar. En la siguiente figura se muestran los cuatro procesos del ciclo Otto tal y como se hace mención en el capítulo 1.

Figura 14. Procesos y diagrama T-s del ciclo termodinámico de Otto



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

Yunus Çengel y Michael Boles, señalan que, el ciclo de Otto se ejecuta en un sistema cerrado, y sin tomar en cuenta los cambios en las energías cinética y potencial, el balance de energía para cualquiera de los procesos, se expresa por unidad de masa, como:

Ecuación 1

$$(q_{entrada} - q_{salida}) + (w_{entrada} - w_{salida}) = \Delta u \quad (\text{kJ/kg})$$

Como no hay trabajo involucrado durante los procesos de transferencia de calor porque son a volumen constante, la transferencia de calor hacia y desde el fluido de trabajo se expresa como:

Ecuación 2

$$q_{entrada} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2)$$

Ecuación 3

$$q_{salida} = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$

En donde T es la temperatura de cada etapa del ciclo, entonces, la eficiencia térmica del ciclo de Otto ideal supuesto para el aire estándar frío se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 4

$$\eta_t = \frac{W_{neto}}{q_{entrada}} = 1 - \frac{q_{salida}}{q_{entrada}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

Como los procesos 1-2 y 3-4 son isentrópico, se tiene la siguiente igualdad $v_2 = v_3$ y $v_4 = v_1$ en donde v es el volumen en cada etapa del ciclo, entonces:

Ecuación 5

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3}$$

Con la ecuación 3.5 y sustituyendo en la ecuación 3.4 se tiene:

Ecuación 6

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4}{T_3}$$

Ecuación 7

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Ecuación 8

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

En donde r es la relación de compresión y k es la relación de calores específicos C_p/C_v ; En la ecuación 8 Yunus Çengel y Michael Boles, señalan que, bajo las suposiciones de aire estándar frío, la eficiencia térmica de un ciclo de Otto ideal depende de la relación de compresión de la máquina y de la relación de calores específicos del fluido de trabajo.

Con la ecuación 7 se hará una gráfica de la eficiencia térmica, con la cual, observando la tendencia se tendrá una mejor perspectiva en cuanto a la

temperatura del aire da admisión, esperando un resultado positivo para el estudio cuando la temperatura del aire sea relativamente más baja.

3.2.1. Suposiciones de aire estándar

En la investigación de Yunus Çengel y Michael Boles, se menciona que en ciclos de potencia de gas, el fluido de trabajo permanece como gas durante todo el ciclo; Los motores encendidos por chispa, los motores de diésel y turbinas convencionales de gas son ejemplos comunes de dispositivos que operan en un ciclo de gas.

También Yunus Çengel y Michael Boles señalan que, en todas las máquinas de combustión interna, la energía se suministra al quemar un combustible dentro de las fronteras del sistema.

Debido a este proceso de combustión, la composición del fluido de trabajo cambia durante el curso del ciclo de aire y combustible a productos de la combustión. Sin embargo, si se considera que en el aire predomina el nitrógeno, el cual difícilmente participa en reacciones químicas en la cámara de combustión, todo el tiempo el fluido de trabajo se parece mucho al aire.

En las máquinas de combustión interna el fluido de trabajo no se somete a un ciclo termodinámico completo, es lanzado fuera de la máquina en algún momento del ciclo en lugar de regresarlo al estado inicial. Trabajar en un ciclo abierto es la característica de todas las máquinas de combustión interna.

Los ciclos reales de potencia de gas son bastante complejos. Para reducir el análisis a un nivel manejable, pueden ser utilizadas las siguientes aproximaciones, comúnmente conocidas como suposiciones de aire estándar:

- El fluido que trabaja es aire que circula de modo continuo en un circuito cerrado y siempre se comporta como un gas ideal.
- Todos los procesos que conforman el ciclo son internamente reversibles.
- El proceso de combustión es reemplazado por un proceso de adición de calor de una fuente externa.
- El proceso de escape es reemplazado por un proceso de rechazo de calor que regresa al fluido de trabajo a su estado inicial.

Otra de estas reglas que se utiliza seguido para simplificar el análisis, es de que el aire tiene calores específicos constantes, cuyos valores son determinados a temperatura ambiente (25 °C ó 77 °F). Cuando se hace uso de esta última, las suposiciones de aire estándar son llamadas suposiciones de aire frío estándar; estas proveen una considerable simplificación en el análisis sin desviarse significativamente de los ciclos reales.

Este modelo simplificado permite estudiar cualitativamente la influencia de parámetros mayores por medio del desempeño de los motores reales y posibilita utilizar las siguientes ecuaciones para determinar la eficiencia térmica de manera ideal, teniendo una referencia que ayude a identificar si el aire es más eficiente a una temperatura baja, media o alta.

Ecuación 9

Ecuación 10

Ecuación 11

$$r = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_{r2}}{v_{r1}}$$

$$v_{r2} = \frac{v_{r1}}{r}$$

En donde v_r es el volumen relativo específico en cada etapa del ciclo.

Con las ecuaciones 9, 10 y 11, asumiendo una situación de aire estándar frío y apoyándose en la tabla A-17, apéndice 1 Yunus Çengel y Michael Boles, se logra despejar las incógnitas correspondientes y así, resolver la ecuación 7 que proporciona la eficiencia térmica, para elaborar una gráfica de la variación de la eficiencia térmica respecto de la temperatura.

Para realizar la gráfica y lograr el trazo de la tendencia de la misma, se utilizaran los siguientes datos:

- Temperatura de entrada en K (temperatura que se modificará)
- Relación de compresión del motor Mitsubishi 4G94
- Tabla V, Yunus Çengel y Michael Boles

Utilizando la temperatura en 1 (T_1) para encontrar el volumen relativo específico en 1 (v_{r1}) con la ayuda de la tabla V, luego operar v_{r1} con la relación de compresión para encontrar v_{r2} , que utilizando la tabla V se encontrará T_2 por interpolación, sustituyendo T_1 y T_2 en la ecuación 7, se tendrá la eficiencia térmica suponiendo condiciones de aire estándar frío.

Tabla V Propiedades de gas ideal del aire

T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K	T K	h kJ/kg	P_r	u kJ/kg	v_r	s° kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260

Fuente: Tabla A-17, Apéndice 1 Yunus Çengel y Michael Boles.

3.2.2. Atmosfera estándar

Según la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) la atmósfera estándar fija una temperatura promedio a nivel del mar de 15 grados celsius, una presión estándar a nivel del mar de 1 013,25 milibares o 29,92 pulgadas de mercurio y una disminución de temperatura de 0,65 grados celsius por cada 100 metros hasta los 11 kilómetros en la atmósfera.

En Guatemala el clima varía según la altitud, de acuerdo con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMHE). En la región norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal, las elevaciones oscilan entre 0 a 300 msnm., con temperaturas que oscilan entre los 20 y 30 °C.

Meseta y altiplanos comprenden la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. En estos territorios se define mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1 400 msnm., con temperaturas entre los 18 y 25 °C.

La planicie costera del Pacífico, que comprende desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa, con elevaciones de 0 a 300 msnm., con temperaturas que oscilan entre los 20 y 37 °, estas son las temperaturas más altas de toda la región. Por encima de los 1 899 hasta los 2 400 msnm., están las llamadas tierras frías, de climas más secos y temperaturas entre los 15° y 25 °C.

Esto señala que en Guatemala, no se aplican los parámetros de referencia, que los fabricantes utilizan para diseñar los vehículos, estos

parámetros se mencionan en el capítulo 1, por lo que, se hará una evaluación de la eficiencia térmica a diferente temperatura. Suponiendo condiciones de aire estándar frío, las temperaturas por utilizar son:

15 °C 18 °C 21 °C 24 °C 27 °C 30 °C 33 °C 37 °C

Estas temperaturas son las más cercanas a las diferentes altitudes que presenta el territorio guatemalteco, teniendo una temperatura media a nivel del mar de 37°C y a 2 400 msnm., una temperatura media de 15 °C.

Se utilizará la relación de compresión del motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94 usado en el vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition modelo 2003, que es una relación de compresión de 10,6:1.

Las variaciones de la temperatura en el ciclo Otto suponiendo aire estándar frío para la eficiencia térmica, se describen a continuación:

- Temperatura 15 °C => 15 + 273 = 288 K
Relación de compresión 10,6:1

Con 288 K y utilizando la tabla V, se ubican los valores correspondientes de v_{r1} para la temperatura anterior y posterior a 288 K, luego se procede a realizar una interpolación utilizando la ecuación 3.12 y 3.13 para X e Y.

$$y_2 = \frac{(288 - 285)(676,1 - 706,1)}{(290 - 285)} + 706,1 \quad \Rightarrow \quad y_2 = \mathbf{688,1}$$

T_1 (K)	285 x_1	288 x_2	290 x_3
v_{r1}	706,1 y_1	688,1 y_2	676,1 y_3

Con v_{r1} y la ecuación 3.11

$$v_{r2} = \frac{688,1}{10,6} = 64,915 \approx 64,92$$

Con el valor de v_{r2} y utilizando la tabla V, se ubican los valores de la temperatura correspondientes al valor inferior y posterior a $v_{r2} = 64,92$, para luego hacer una interpolación.

$$x_2 = \frac{(64,92 - 67,07)(720 - 710)}{(64,53 - 67,07)} + 710 \Rightarrow x_2 = 718,46$$

T_2 (K)	710 x_1	718,46 x_2	720 x_3
v_{r2}	67,07 y_1	64,92 y_2	64,53 y_3

Con la ecuación 3.7 se tiene, $\eta_t = 1 - \frac{288}{718,46} = 0,599 \Rightarrow 59,9 \%$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 15°C es de 59,9 %.

- Temperatura 18 °C $\Rightarrow 18 + 273 = 291$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 18°C es de 59,88 %.

- Temperatura 21 °C $\Rightarrow 21 + 273 = 294$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 21°C es de 59,84 %.

- Temperatura 24 °C => $24 + 273 = 297$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 24°C es de 59,79 %.

- Temperatura 27 °C => $27 + 273 = 300$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 27°C es de 59,76 %.

- Temperatura 30 °C => $30 + 273 = 303$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 30°C es de 59,71 %.

- Temperatura 33 °C => $33 + 273 = 306$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 33°C es de 59,68 %.

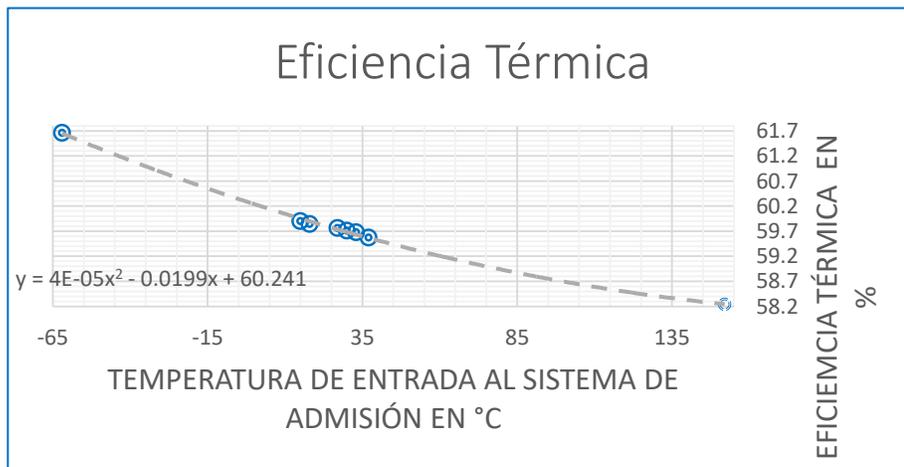
- Temperatura 37 °C => $37 + 273 = 310$ K
Relación de compresión 10,6:1

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 37 °C es de 59,57 %.

Con una temperatura más fría la eficiencia térmica aumenta, pero por el contrario si la temperatura es elevada la eficiencia térmica empieza a disminuir gradualmente. Se hicieron cálculos para temperaturas de -62 °C y de 152 °C

siendo sus respectivas eficiencias térmicas 61,66 % y 58,24 %. La siguiente gráfica muestra los resultados obtenidos a diferente temperatura.

Figura 15. **Eficiencia térmica del ciclo termodinámico de Otto con temperaturas de 15-37 °C**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Estos resultados están dados suponiendo que la temperatura de admisión del vehículo es la temperatura ambiente, pero esto solo ocurre cuando el vehículo es puesto en marcha con la temperatura del motor a cero, pues no ha llegado a su temperatura de operación. Se harán pruebas para recopilar información de la temperatura en la entrada del múltiple de admisión, esto se hará a través de un escáner capaz de leer los códigos de la computadora a bordo del vehículo.

Con un escáner Innova Can OBD II, se leen los códigos congelados en la computadora del Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition, logrando recopilar los siguientes datos, con los cuales se hará una evaluación de la eficiencia térmica del ciclo Otto.

Tabla VI Datos de la temperatura del aire de admisión del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94

Temperatura ambiente	Temperatura del refrigerante del motor	Temperatura en la entrada del múltiple de admisión
74 °F - 23 °C	190 °F - 88 °C	89 °F - 32 °C
74 °F - 23 °C	188 °F - 87 °C	98 °F - 37 °C
81 °F - 27 °C	199 °F - 93 °C	107 °F - 42 °C
77 °F - 25 °C	206 °F - 98 °C	134 °F - 57 °C
74 °F - 23 °C	190 °F - 88 °C	141 °F - 61 °C
77 °F - 25 °C	188 °F - 87 °C	143 °F - 62 °C

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI se pueden observar distintas temperaturas, que varían de 32 °C hasta los 62 °C siendo este último el valor promedio cuando el vehículo alcanza su temperatura normal de trabajo. También se observa que a pesar de la temperatura ambiente los resultados obtenidos no dependen de esta, pues el aire es calentado inevitablemente debido a las condiciones de trabajo del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94. Estos valores fueron recopilados en diferentes condiciones, pues el vehículo se utilizó haciendo recorridos normales.

En la gráfica de la figura 3-2 se muestra una tendencia bastante lineal, que claramente denota que en la temperatura más baja la eficiencia es máxima, aunque no es una gran diferencia entre la temperatura más baja y la más alta, existe claramente una pendiente negativa pues a mayor temperatura será

menor la eficiencia térmica, la ecuación de la gráfica queda de la siguiente forma:

$$y = -0,0149x + 60,149$$

En donde **y** es la eficiencia térmica y **x** la temperatura (centígrados) de entrada en el múltiple de admisión del MCI Mitsubishi 4G94 ciclo Otto, que se describen en la tabla VI de este capítulo.

A continuación se buscará la eficiencia térmica del ciclo de Otto suponiendo aire estándar frío, como se realizó con las diferentes temperaturas que presenta el territorio guatemalteco a diferente altitud, con la diferencia que esta vez se tomarán los valores obtenidos en diferentes recorridos.

- Temperatura 32 °C $\Rightarrow 32 + 273 = 305 \text{ K}$
Relación de compresión 10,6:1

$$y = -0,0149x + 60,149 \Rightarrow y = -0,149(32) + 60,149 = 59,67$$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 32 °C es de
59,67 %.

- Temperatura 37 °C $\Rightarrow 37 + 273 = 310 \text{ K}$
Relación de compresión 10,6:1

$$y = -0,0149x + 60,149 \Rightarrow y = -0,149(37) + 60,149 = 59,59$$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 37 °C es de
59,59 %.

- Temperatura 42 °C $\Rightarrow 42 + 273 = 315 \text{ K}$

Relación de compresión 10,6:1

$$y = -0,0149x + 60,149 \Rightarrow y = -0,149(42) + 60,149 = 59,52$$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 42 °C es de
59,52 %.

- Temperatura 57 °C $\Rightarrow 57 + 273 = 330 \text{ K}$

Relación de compresión 10,6:1

$$y = -0,0149x + 60,149 \Rightarrow y = -0,149(57) + 60,149 = 59,29$$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 57 °C es de
59,29 %.

- Temperatura 61 °C $\Rightarrow 61 + 273 = 334 \text{ K}$

Relación de compresión 10,6:1

$$y = -0,0149x + 60,149 \Rightarrow y = -0,149(61) + 60,149 = 59,24$$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 61 °C es de
59,24 %.

- Temperatura 62 °C $\Rightarrow 62 + 273 = 335 \text{ K}$

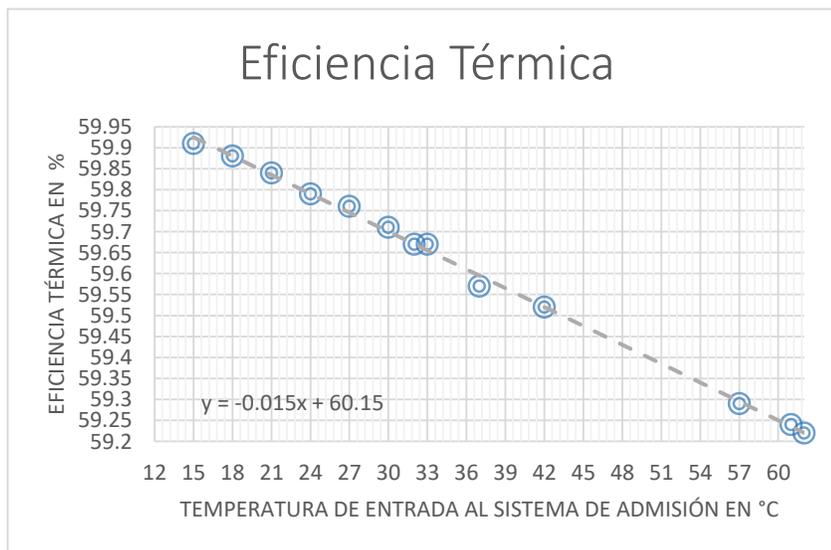
Relación de compresión 10,6:1

$$y = -0,0149x + 60,149 \Rightarrow y = -0,149(62) + 60,149 = 59,22$$

La η_t suponiendo aire frío estándar a una temperatura de 62 °C es de
59,22 %.

En la figura 3-2 se ve la temperatura que se registró en la entrada de la admisión (15 °C a 62 °C). Se obtuvo con escáner en tiempo real.

Figura 16. **Eficiencia térmica del ciclo termodinámico de Otto con temperaturas de 15-62 °C**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Con 62 °C como temperatura promedio en la entrada del sistema de admisión cuando el vehículo alcanza su temperatura normal de trabajo, la eficiencia térmica aun se mantiene en un 59 %, descartando que una variación de temperatura de entre 15 °C y 62 °C tenga influencia en el comportamiento del rendimiento del MCI Mitsubishi 4G94 ciclo Otto.

3.2.3. Interpretación de resultados

Como se aprecia en las dos gráficas, sí existe una diferencia de la eficiencia térmica respecto de la temperatura, pues entre más calor existe

menos eficiencia térmica. Sin embargo, no es una gran diferencia entre una temperatura y otra, pudiendo considerar el cambio de temperatura como irrelevante para este estudio, siempre que esta no exceda lo permitido para una buena combustión.

Los diseñadores de los MCI ciclo Otto, prevén la situación del cambio de temperatura, por lo que implementan un sensor en la entrada del sistema de admisión que sondea la temperatura a la cual entra el aire para hacer la combustión, mandando así una señal que la computadora del vehículo interpreta para variar y optimizar la mezcla de combustible para lograr un rendimiento óptimo.

Por lo anterior, se considera que la variación de la temperatura no afecta el rendimiento del vehículo, pues cuando este alcanza su temperatura de trabajo el aire que entra en la admisión se mantiene a una temperatura más elevada que la temperatura ambiente. Siempre se debe considerar que esto es aplicable a los MCI ciclo Otto de aspiración natural, debido a que en el caso de los MCI ciclo Otto turboalimentados, la temperatura de admisión alcanza una temperatura mucho mayor a las antes mencionadas.

3.3. Planteamiento de una solución

En el capítulo uno, se menciona que Pulkrabek considera que la presión atmosférica tiene una serie de restricciones para empujar el aire por el sistema de admisión, por lo que la presión de entrada en el cilindro es

considerablemente menor a la presión atmosférica, por lo que una prioridad es reducir tanto se posible dicha restricción en la entrada del sistema de admisión.

Para evitar estas restricciones se cuenta con varios accesorios, pero son pocos los que entran en la categoría denominada *Bolt-on*, un conjunto de estos accesorios es el sistema de admisión de alto flujo de aire, que incluye un filtro de aire cónico y una tubería lisa que sustituye al sistema de admisión de fábrica del vehículo. Este sistema es de fácil instalación y con resultados notables en el rendimiento del vehículo.

Con este sistema de alto flujo de aire se logra que este entre con mayor facilidad, por lo tanto, entra una mayor cantidad de aire comparada con lo que entra con el sistema de fábrica, aunque el MCI ciclo de Otto de aspiración natural no puede recibir más aire del que su diseño le permite, este sistema de alto flujo de aire permite que entre la cantidad máxima de aire para lo que el MCI fue diseñado.

3.3.1. Sistema de admisión de alto flujo de aire

La primera forma más rápida y para obtener más potencia de cualquier motor es conseguir que entre más aire al motor y, por consiguiente, que se evacuen más gases por el escape. Un sistema de admisión y un filtro de aire de baja restricción es la manera de empezar, pues al disminuir la restricción se logra que la presión atmosférica empuje una mayor cantidad de aire a los cilindros. Según los fabricantes de sistemas de admisión de alto flujo de aire, tal es el caso de K&N el aumento de potencia oscila entre, una ganancia de 5 a 10 caballos de fuerza en la mayoría de las aplicaciones.

El filtro de aire con forma de cono truncado, proporciona una mayor superficie con enormes incrementos en el flujo de aire, que genera caballos de fuerza; el gran tamaño del filtro de aire también captura y retiene más suciedad, aumentando su vida útil.

La mejora de la trayectoria de aire entre el filtro de aire y el múltiple de admisión también es parte de la mejora, incorporando tubos moldeados de polietileno de alta densidad o tubos de aluminio pulido, siendo el sistema de polietileno moldeado el que al ofrecer la mayor flexibilidad en el diseño de la toma de aire aumenta la potencia lo mejor posible; Los sistemas de admisión de aluminio ofrecen potencia con un aspecto más elegante.

Si la trayectoria entre el filtro y el múltiple de admisión es corta, solo mejora debido a la poca restricción, mientras que en una trayectoria más larga, se crea un sistema de admisión de aire más frío, trasladando al exterior del compartimiento del motor el filtro de aire, para lograr temperaturas más bajas en la entrada del sistema de admisión.

El aire frío hace que exista mayor eficiencia térmica, pero como lo muestran los resultados no es una diferencia notable, debido a que las temperaturas a las que se ve afectado un MCI ciclo Otto no son relativamente altas. A diferencia de un MCI ciclo Otto turboalimentado, que por tener el sistema de admisión junto con el de escape el aire de entrada se ve afectado por la temperatura de los gases de escape.

Debido a este factor la mayor utilidad del sistema de admisión de alto flujo de aire es el diseño, pues este disminuye las restricciones permitiendo que la presión atmosférica ejerza una mayor fuerza sobre el aire que es introducido al

sistema de admisión. Esta es una ventaja cuando no se dispone de una presión atmosférica estándar, tal y como lo es en el caso de una altitud elevada.

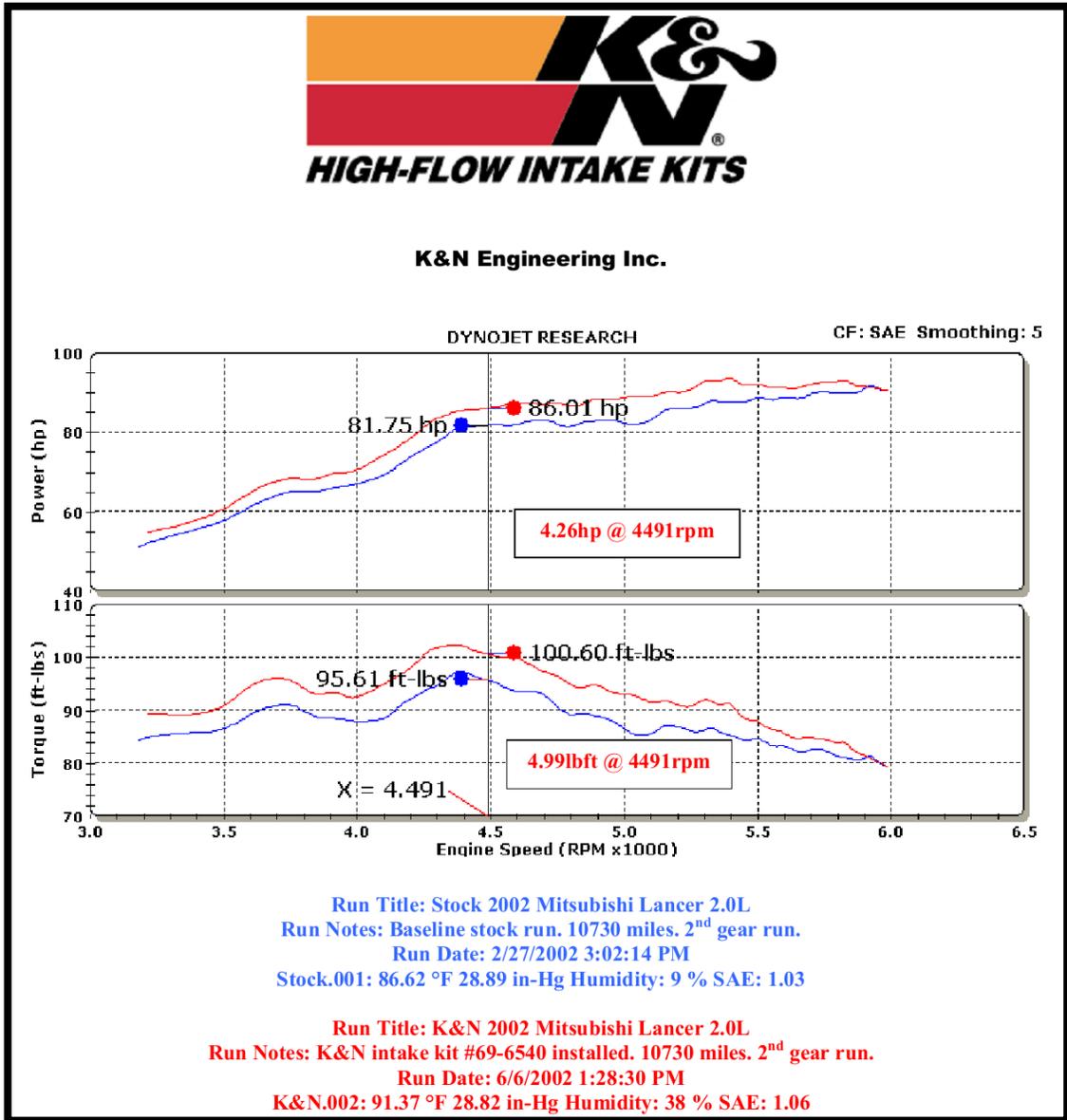
AEM y K&N son unas de las pocas compañías que se dedica a la investigación, diseño, fabricación y distribución de sistemas de filtración de aire, respaldando sus productos con investigaciones y pruebas de campo, garantizando el incremento de la potencia de los vehículos, a los cuales se les coloca un sistema de admisión de alto flujo de aire.

En la siguiente figura se muestra el sistema de admisión de alto flujo de aire y una prueba en el dinamómetro de un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition.

En la figura 17, se muestra la gráfica de una prueba en dinamómetro con sistema de admisión de alto flujo de aire frente a un sistema normal de un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition. Claramente se ve que el vehículo en condiciones de fábrica se aproxima a 82 caballos de potencia y 96 libras pie de torque, ya con las modificaciones. En este caso el sistema de admisión de alto flujo de aire K&N, las cifras ascienden a 86 caballos de potencia y casi 101 libras a pie de torque, aumentando 4,26 caballos de potencia y casi 5 libras pie de torque.

También se puede observar que se utiliza la norma SAE para realizar la prueba en el dinamómetro, esta norma indica que para estas pruebas se tiene varios datos de referencia.

Figura 17. Prueba en dinamómetro con sistema de admisión de alto flujo de aire



Fuente: K&N Engineering Inc.

Datos de referencia norma SAE:

- Temperatura del aire: 77°F 25°C
- Presión absoluta: 29,23 pulgadas Hg
- Humedad relativa: 0 %
- Caballos de potencia relativos: 100 %
- Densidad del aire: 1,157kg/m³
- Densidad relativa del aire: 94,4 %
- Densidad altitud: 1 952 pies
- Temperatura virtual: 77°F 25°C
- Presión de vapor: 0 pulgadas Hg
- Dyno factor de corrección: 1

3.3.1.1. Características de diseño

Con resultados obtenidos en las pruebas de eficiencia térmica, se sabe que la temperatura varía desde la temperatura ambiente, hasta no más de 150 °F, siempre que no se exceda esta variación. No se considerará como una influencia en el rendimiento del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94 de acuerdo con las observaciones hechas. Lo que más influye es la excesiva restricción desde el filtro de aire en la entrada, hasta la cámara de combustión.

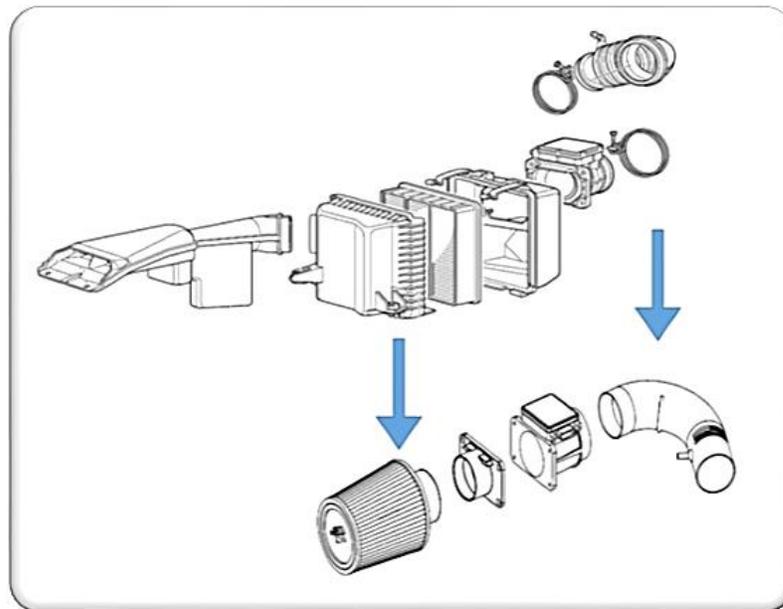
El diseño es simple, debido a que solo hay que evitar las restricciones del flujo de aire hacia los cilindros; reemplazando las superficies rugosas por superficies lisas y utilizando curvas menos pronunciadas, coincidiendo así con la investigación de Pulkrabek, John Heywood. Ambos mencionan que el sistema de admisión restringe la cantidad de aire que entra al cilindro, dando como resultado una variación de volúmenes, pues entra menos de lo que realmente cabe en el cilindro.

3.3.1.2. Funcionamiento básico

Su funcionamiento, se fundamenta en el simple hecho de eliminar la mayor parte de restricciones desde la entrada del filtro a los cilindros.

En el primer capítulo se hace referencia a la investigación de Pulkrabek y es en esta que se menciona, que la presión que realmente se usa en el proceso de admisión es ligeramente menor que la presión atmosférica, pues pasa por el sistema de admisión para llegar al a la cámara de combustión. Es en este proceso en el cual se busca eliminar la mayor cantidad de restricciones como sea posible para que la presión atmosférica logre empujar una cantidad mayor de aire a la cámara de combustión.

Figura 18. **Partes originales y de alto flujo de aire de un MCI ciclo de Otto Mitsubishi 4G94**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

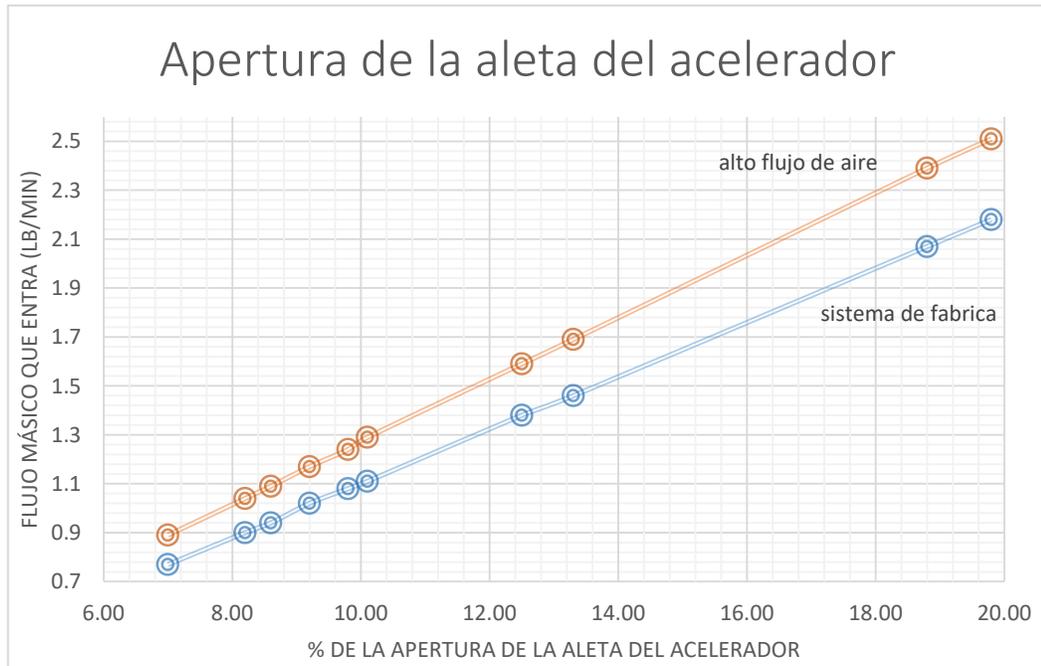
Anteriormente se hicieron lecturas de los códigos congelados en la computadora del Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition, logrando recopilar los parámetros del flujo másico dependiendo la abertura de la aleta del acelerador del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94 con sistema de alto flujo de aire y con sistema de fábrica con la finalidad de compararlos y determinar si es viable este sistema.

Tabla VII Datos de la apertura de la aleta del acelerador del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94

Sistema de fabrica		Sistema de alto flujo de aire	
Apertura de acelerador %	Flujo másico lb/min	Apertura de acelerador %	Flujo másico lb/min
8,6	0,94	7,0	0,89
9,2	1,02	8,2	1,04
10,1	1,11	9,8	1,24
12,5	1,38	13,3	1,69
19,8	2,18	18,8	2,39

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Apertura de la aleta del acelerador**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la figura 19, se aprecia la gráfica de la apertura del acelerador de un vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003 con un sistema de admisión de fábrica y uno con un sistema de alto flujo de aire, claramente se ve que en el de alto flujo de aire es mayor la cantidad de flujo másico que pasa por él. Se aprecia que conforme aumenta la apertura se incrementa en mayor medida el flujo másico, pues las gráficas no tienen la misma pendiente siendo mayor en el sistema de alto flujo de aire.

Se estima que hay un incremento de un 15 % más flujo másico en un sistema de alto flujo de aire que en un sistema de fábrica, esto indica que hasta los 1 500 metros de altitud habrá una ganancia de potencia, pero más allá de ese punto siempre habrá pérdida de potencia.

3.3.2. Sistema de escape *Header*

El sistema de escape denominado *Header*, es uno de los accesorios *Bolt-on* que mejora el rendimiento de un motor. El objetivo del sistema de escape *Header* es facilitarle al MCI una mejor y más rápida evacuación de los gases de escape.

En el primer capítulo se hace referencia a la investigación de William William Crouse, que señala cuatro carreras que ocurren en los cilindros, pero, es en la carrera de expansión o explosión donde el MCI ciclo Otto produce todo su poder. La gasolina en el cilindro se quema y se expande durante este movimiento, generando así la energía que es aprovechada. Las tres carreras restantes se pueden considerar como males necesarios o requeridos para hacer la carrera de expansión o explosión posible.

Es durante la carrera de escape, en donde se puede perder una cantidad considerable de potencia por la contrapresión que genera la presión atmosférica. Willard Pulkrabek explica que, cerca del final de la carrera de expansión la válvula de escape se abre y los gases de escape son expulsados. Esto reduce la presión del cilindro a la presión del sistema de escape, pero, si hay cualquier cantidad de resistencia en contra, el pistón tiene que empujar para obligar a los gases de escape hacia fuera, siendo así, un desperdicio de energía. Pero, a mayor altitud, hay menos presión atmosférica, por lo que en este punto solo es favorable la altitud.

El uso de dos válvulas de escape en lugar mejora el flujo, haciendo que el agujero por donde los gases de escape viajan sea más grande, por lo que aumenta el diámetro del sistema de escape. También se logra una mejor y más rápida evacuación de gases.

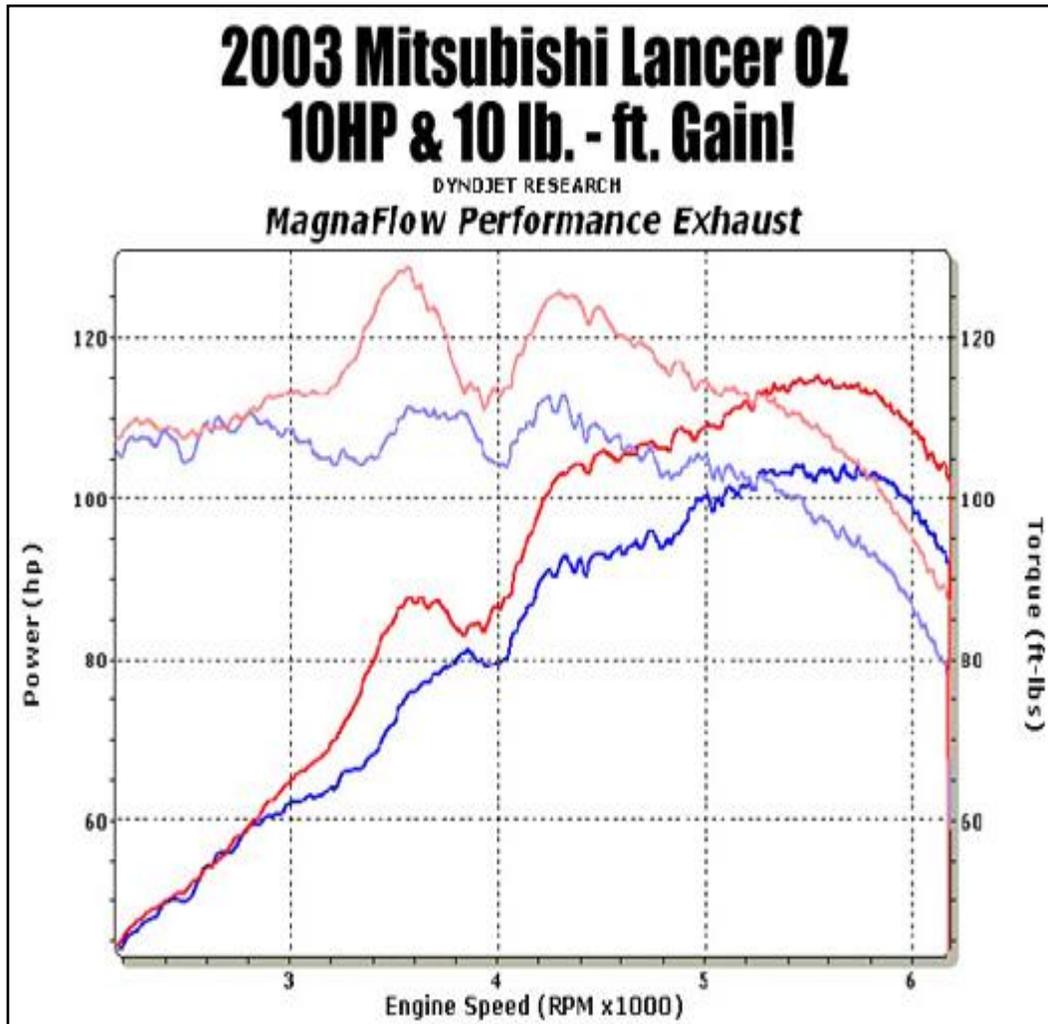
En un MCI ciclo Otto, una vez que los gases de escape salen del cilindro, terminan en el múltiple de escape; dependiendo el número de cilindros, cuatro, seis, ocho, etcétera. Todos los cilindros usan el mismo bloque, los gases evacuados por cada cilindro tienen que pasar por el múltiple de escape, luego por una tubería hacia el convertidor catalítico y el silenciador. Así resulta que el múltiple de escape puede ser una fuente importante de presión hacia atrás, debido a que los gases de escape de los otros cilindros acumulan presión en el múltiple de escape, afectando al cilindro que le corresponde la carrera de escape.

La idea del sistema de escape *headers* es, eliminar la presión del múltiple de escape por gases acumulados de otro cilindro, pues en lugar de un colector común de todos los gases de los cilindros, cada uno recibe su propio tubo de escape, uniéndose estos a un tubo más grande llamado también colector.

Los tubos individuales se cortan y doblan de manera que cada uno tenga la misma longitud que los otros. Al hacerlos de la misma longitud, se garantiza que los gases de escape de cada cilindro lleguen al colector espaciados igualmente, lo que permite que no haya presión de retorno generada por los cilindros que comparten el colector.

A continuación se presenta una gráfica que contiene las pruebas realizadas de dinamómetro realizadas a un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition, por MagnaFlow.

Figura 20 Prueba en dinamómetro con sistema de escape *headers*



Fuente: *MagnaFlow Inc.*

En la figura 20, se puede observar la gráfica de la prueba de dinamómetro que la compañía MagnaFlow realiza a un vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition, como parte de su estudio para el diseño de *headers*, en la cual se aprecia que hay un aumento de potencia así como de torque. Según este

gráfico, junto con el sistema de alto flujo de aire, se tiene que hay un claro aumento de 15 caballos de potencia así como 15 libras pie de torque.

3.3.2.1. Características de diseño

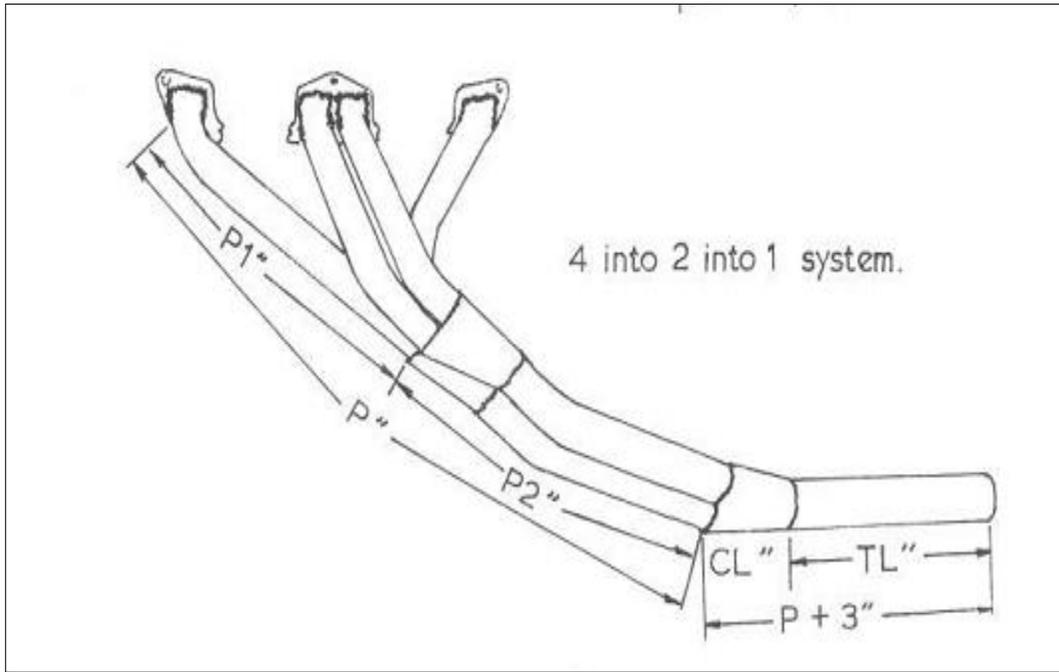
En los MCI ciclo Otto los múltiples de escape en su mayoría son de hierro fundido, un material pesado y que a su vez con un diseño muchas veces restrictivo, por lo que el diseño se basa en la eliminación de peso y como en el caso del sistema de admisión, la eliminación de las restricciones que presente el sistema de fábrica.

En los múltiples de escape de fábrica existe restricción de presión de gas, pues si se tiene una presión de 20 Psi al momento que las válvulas de escape se abren, esto hará que exista una restricción al flujo del gas, por otro lado los *headers* permiten salidas individuales de cada cilindro, reduciendo la presión del múltiple de escape hasta en un 75 %.

El diseño de los *headers* debe ser acorde al tamaño del MCI, su potencia y el uso que se le dará al mismo. De acuerdo con el artículo de Oscar F. Oskarsson, otro factor para el diseño de los *headers* es la contrapresión, pues en un sistema de escape varía en función de las revoluciones del motor.

Los *headers* utilizan tubos primarios más largos que los del múltiple de escape de fábrica, estos por lo general ayudan a producir más energía con una buena potencia en los rangos bajos y medios de las RPM. En el MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94 se utilizaron *headers* largos con una forma y diseño de 4-2-1, lo que significa que los cuatro colectores primarios se unen a dos tubos y estos, a su vez, desembocan en una sola tubería.

Figura 21. **Diseño 4-2-1 de headers**



Fuente: GRAHAM BELL, A. *Four-Stroke performance tuning* p. 112.

En el diseño de los *headers* se utilizarán las fórmulas de Graham Bell, descritas en su libro:

Ecuación 12
$$P = \frac{850 * Ed}{rpm} - 3$$

En donde P es la longitud en pulgadas del colector primario, Ed es 180° más los grados de apertura de la válvula de escape y rpm es el número de revoluciones por minuto al cual se quiere sincronizar el motor.

Ecuación 13
$$Di = \sqrt{\frac{cc}{(P+3)*25}} * 2,1$$

En donde Di es el diámetro del colector P1, cc es el volumen del cilindro en centímetros cúbicos y P la longitud del colector primario.

Ecuación 14
$$Di2 = \sqrt{Di^2 * 2} * 0,91$$

En donde Di2 es el diámetro de P2.

Ecuación 15
$$Di3 = \sqrt{\frac{cc*2}{(P+3)*25}} * 2$$

En donde Di3 es el diámetro de P3.

Donde Ed es 180° más los grados de apertura de la válvula de escape, estos datos de apertura los tomamos de la siguiente tabla

Tabla VIII. **Apertura de las válvulas de admisión y escape de MCI 4G94**

Válvula de admisión	Abierta	(BTDC) 2°
	Cerrada	(ABDC) 58°
Válvula de escape	Abierta	(BBDC) 58°
	Cerrada	(ATDC) 10°

Fuente: elaboración propia.

- BTDC; *Before top dead center*; antes del punto muerto superior.
- ABDC; *After bottom dead center*; después del punto muerto inferior.
- BBDC; *Before bottom dead Center*; antes del punto muerto inferior.
- ATDC; *After top dead cente*; después del punto muerto superior.

$$Ed = 180^\circ + 58^\circ = 238^\circ$$

rpm al que se quiere sincronizar el motor será 4 900 rpm según el promedio entre torque máximo y hp máximo de la tabla III.

cc es el volumen de un cilindro en centímetros cúbicos, este valor se toma de la tabla III y se divide en el número de cilindros para tener el volumen de cada cilindro $1\,999 \text{ cc} / 4 = 499,75$

$$P = \frac{850 * (238)}{4900} - 3 = 38,29''$$

$$Di = \sqrt{\frac{499,75}{(38,29+3)*25}} * 2,1 = 1,46''$$

$$Di2 = \sqrt{(1,46)^2 * 2} * 0,91 = 1,88''$$

$$Di3 = \sqrt{\frac{499,75*2}{(38,29+3)*25}} * 2 = 1,97''$$

Tabla IX. **Diámetro de la tubería obtenido de las ecuaciones**

Diámetro	Calculo por ecuación	Tubería por utilizar
1	1.46"	1 1/2"
2	1.88"	1 5/8"
3	1.97"	2"

Fuente: elaboración propia.

El diámetro varía en función de las revoluciones por minuto a las cuales se quiere sincronizar el motor, por lo que puede variar el diámetro de cada tubería. En el mercado ya existen diferentes marcas de *headers*, que si bien no tienen la medida exacta de una sincronización a determinadas revoluciones por minuto (rpm), tienen una excelente funcionalidad para el uso que se pretende en estas pruebas.

Figura 22. **Kit de *headers* para un MCI ciclo de Otto Mitsubishi 4G94**



Fuente: <https://i.ebayimg.com/images/g/W-cAAOSwFSxaBOLn/s-l1600.jpg>.

Consulta: marzo de 2013

3.3.2.2. Funcionamiento básico

El funcionamiento básico de los *headers* es dejar salir los gases de escape sin restricción alguna, pero en el sistema de escape existen varias restricciones a lo largo de esta. Los *headers* sustituyen el múltiple de escape como se mencionó anteriormente, otra importante restricción es el uso del convertidor catalítico, pues este por su diseño limita el paso de los gases de escape que van desde los cilindros hasta la salida del silenciador.

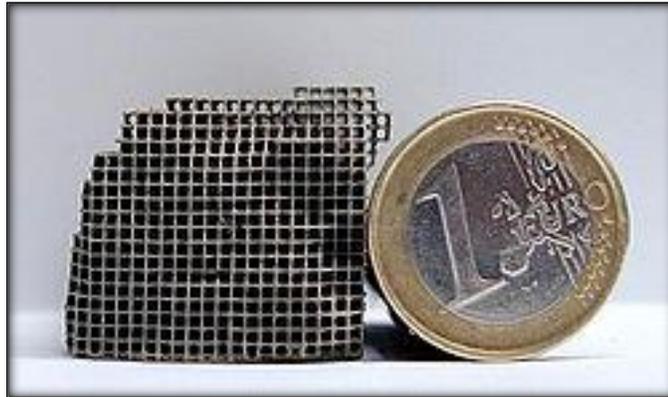
La función del convertidor catalítico es de no permitir que los gases de escape constituidos por hidrocarburos, monóxido de carbono y óxido de nitrógeno salgan a la atmósfera, convirtiéndolos en dióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno molecular mediante una reacción química. Esto disminuye la velocidad de los gases de escape, pues son obligados a pasar por una malla cerámica de canales longitudinales en donde se realiza dicha reacción química.

Resulta relativamente común eliminar el convertidor catalítico y sustituirlo por un tubo directo o por un silenciador convencional. Esto aumenta las prestaciones de algunos vehículos, pero de esta manera los gases nocivos llegan directamente a la atmósfera. Por esta razón, en la actualidad los fabricantes de accesorios toman en cuenta las restricciones del convertidor catalítico. Ahora existen convertidores catalíticos “metálicos”, que aumentan las prestaciones sin dejar de lado la función del convertidor catalítico.

Estos catalizadores están realizados en monolito metálico y tienen menor número de celdas de mayor tamaño que los convencionales de fábrica, por lo que permiten un aumento en la velocidad de salida de los gases de escape y, consecuentemente, un aumento de prestaciones de cualquier vehículo. En la

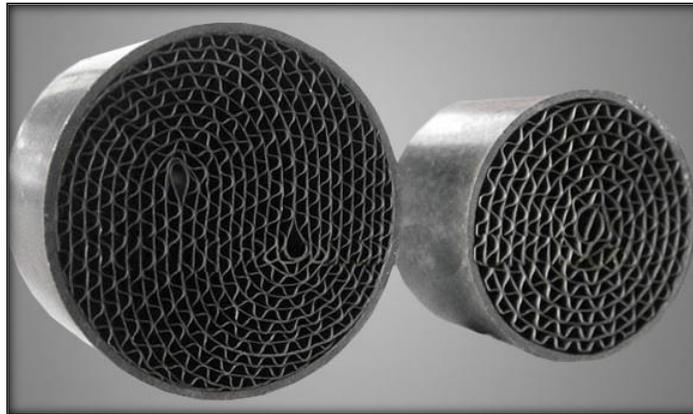
siguiente imagen se ve un fragmento del panel cerámico del convertidor catalítico de fábrica, y un convertidor catalítico de alto flujo.

Figura 23. Fragmento del panel cerámico del convertidor catalítico de fábrica



Fuente: <http://lex.staticserver2.com/static/es/800/catalisis.jpg>. Consulta: marzo de 2013

Figura 24. Fragmento de un convertidor catalítico de alto flujo



Fuente: <http://m1.ablwang.com/uploadfile/2013/1107/20131107110234418.jpg>.

Consulta: marzo 2013

4. PRUEBAS DE CAMPO

En el capítulo anterior se hizo la evaluación del comportamiento del ciclo termodinámico de Otto. Con los resultados de la eficiencia térmica variando la temperatura se concluye que lo que más afecta no es la disminución ni aumento de la temperatura de entrada en el sistema de admisión, pues en los motores de combustión interna ciclo Otto de aspiración natural la temperatura de admisión no es tan elevada.

En este capítulo se realizarán pruebas de campo para verificar de forma práctica el rendimiento de un vehículo con motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94, como es el Mitsubishi Lancer OZ-Rally Edition, para lo que se realizarán tres pruebas de recorrido, con el objetivo de verificar dicho rendimiento en consumo de combustible por kilómetro recorrido. Estas pruebas se realizarán a diferente altitud, para determinar si la altitud es un factor perceptible en el consumo de combustible.

Para realizar las pruebas se tiene que contar con una referencia que sirva de base para hacer una comparación con los resultados que se obtendrán. En los Estados Unidos de América existe una organización que se encarga del bienestar de la salud humana y del ambiente.

La agencia de protección ambiental por sus siglas en inglés EPA, es la que se encarga de este bienestar y entre sus actividades está el realizar pruebas a todos los vehículos en el país, entre las cuales se destaca para esta investigación, las pruebas de rendimiento de combustible por kilómetro recorrido y diversos temas en el ahorro de combustible.

Según EPA el consumo promedio kilómetros por galón para el Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003 es como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla X. **Datos del consumo de combustible por kilómetro recorrido**

Consumo de combustible (km/galón)	Datos de EPA	Datos de agencia
Carretera	48	53
Ciudad	37	42
Combinado	42	47

Fuente: EPA y Autos.ca

El consumo difiere pues EPA utiliza pruebas muy rigurosas en diferentes escenarios de prueba, estos resultados son mucho más reales que los obtenidos por los fabricantes.

4.1. Prueba de recorrido del vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition a diferente altitud

El vehículo de pruebas es un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition modelo 2003 es utilizado como taxi en la ciudad de Guatemala, el motor de este vehículo es un 4G94 que cuenta con *headers* con un diseño 4-2-1 y un sistema de alto flujo de aire. Con esto se busca resaltar la efectividad de la tecnología *Bolt-on*, y hacerla válida para su uso con el fin de aumentar el rendimiento a diferente altura.

La forma que se usará para saber qué cantidad de kilómetros recorre el vehículo por volumen de combustible, se realizará de la siguiente manera. Se llenará el tanque de combustible y se toma lectura del cuentakilómetros. Luego de haber recorrido la distancia deseada, se procederá a llenar el tanque de combustible nuevamente y se toma una segunda lectura del cuenta kilómetros. Las dos lecturas se dividen en la cantidad de galones de combustible que entraron en el tanque la segunda vez, así se obtiene el valor de kilómetros por galón de combustible.

4.1.1. Recorrido ascendente

El territorio guatemalteco cuenta con una gran variedad climática, producto de su relieve montañoso que va desde 0 hasta los 4 220 metros sobre el nivel del mar, su ciudad capital situada a 1 600 metros sobre el nivel del mar esta altitud es la base para los recorridos, tanto ascendentes como descendentes.

En el recorrido ascendente se busca resaltar la pérdida de potencia por la falta de presión atmosférica, que influye en la rapidez con que entra el aire al sistema de admisión así como la cantidad de oxígeno que disminuye según la altitud. Por otro lado, la misma falta de presión atmosférica, hace que la contrapresión sea menor y los gases de escape se liberen con mayor facilidad.

El recorrido ascendente se realizará desde la ciudad de Guatemala ubicada a unos 1 600 metros sobre el nivel del mar, hasta la ciudad de Quetzaltenango a una altitud promedio de 2 300 metros sobre el nivel del mar.

El recorrido empieza en la estación de gasolina Shell Cursa II ubicada en la 2 avenida 6-00 zona 2 Guatemala, Guatemala; donde se llena el tanque de combustible del vehículo, acción seguida se coloca el odómetro del vehículo

en 0 kilómetros, se toman en cuenta algunos datos como los son el número de ocupantes del vehículo que son 4 promediando un peso de 175 libras por persona, la hora de salida 06:00 horas, tráfico poca afluencia de vehículos y temperatura ambiente 19°C, luego se prosigue a salir realizando el viaje a una velocidad lo más constante posible de aproximadamente 90 kilómetros por hora.

En el recorrido el vehículo no presentó ninguna molestia debido a la altitud, hasta que se empezó a acercarse a los 3 500 metros de altitud, a un lugar llamado la cumbre de Alaska. En este sitio empezó a perder potencia considerablemente, como si se frenara, aunque en ningún momento presentó alguna falla de combustión, esto debido a sus sensores que indicaron la presión atmosférica con la que se contaba para mantener una combustión adecuada. Sin embargo, la altitud sí afectó el rendimiento del vehículo, pues se pudo notar su falta de potencia.

Al llegar al destino se promedian alrededor de 2 600 metros sobre el nivel del mar, el MCI ciclo Otto no presenta ningún fallo, todo es normal, o al menos así se percibe, pues no es hasta dirigirse al mirador que se encuentra en una parte elevada, el vehículo vuelve a presentar pérdida de fuerza. No desarrolla la misma velocidad, a determinadas revoluciones por minuto, hay que acelerarlo más para lograr una potencia que se asemeje a lo normal.

El viaje de regreso es normal, promediando de nuevo una velocidad crucero de 90 kilómetros por hora. Llegando a donde se llenó el tanque de combustible se procede a llenarlo de nuevo, esta vez con 8,82 galones de gasolina superior. Con este dato y con el recorrido en el odómetro de viaje de 457 kilómetros, se tiene como resultado 51,8 kilómetros por galón de combustible.

4.1.2. Recorrido descendente

En este recorrido al igual que el anterior, se realizará desde la ciudad de Guatemala, hasta el puerto de San José que es una ciudad del municipio de San José en la costa del océano Pacífico en el departamento de Escuintla, este se encuentra a 0 metros sobre el nivel del mar, por lo que el viaje será de manera descendente.

El recorrido empieza en la estación de gasolina Shell Cursa II misma estación del recorrido ascendente, se llena el tanque de combustible del vehículo y se coloca el odómetro del vehículo en 0, la hora de salida 07:30 horas, calles con poca afluencia de vehículos, temperatura del ambiente 19°C.

El recorrido se hace a velocidad promedio de 100 kilómetros por hora pues el poco tráfico y la carretera así lo permite, el viaje de ida es en su mayoría de forma descendente, utilizando freno de motor y las precauciones adecuadas de conducción, notando en el viaje que el vehículo se siente con bastante potencia y mostrando un buen rendimiento de conducción, conforme el recorrido, el clima se torna más caluroso llega de 19°C hasta el promedio de la región de 35°C.

A diferencia del recorrido ascendente, el vehículo se siente con mucha potencia, suave en cuanto a su respuesta de aceleración; el viaje de regreso es normal sin que se sienta pérdida de potencia aunque ya es ascendente, al llegar al punto de partida se procede a llenar el tanque y este se llena con 4,32 galones y recorre 244,57 kilómetros, para un consumo de 56,6 kilómetros por galón.

4.1.3. Recorrido en altitud media

La ciudad de Guatemala se encuentra situada a una altitud media de 1 600 metros sobre el nivel del mar y su temperatura ambiente promedia los de 18 a los 25°C la mayor parte del tiempo.

El recorrido a una altitud media es relativamente el más complicado, pero para el vehículo de pruebas que es utilizado como taxi será simplemente una rutina más. En esta prueba hay que tomar en cuenta el tránsito diario de la ciudad de Guatemala a diferente hora, por lo que se realizará un cálculo estimado de varios días con el mismo procedimiento de llenar el tanque de combustible y contar los kilómetros recorridos.

Esta prueba se realizará tres diferentes días con el fin de hacer un promedio que determine una aproximación del consumo de combustible en ciudad, con diferente condición de tránsito a una altitud media de 1 600 metros sobre el nivel del mar.

El vehículo de pruebas Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition al ser utilizado como taxi, hace que el cálculo de su consumo de combustible sea más fácil, debido a que diario recorre una gran distancia en la ciudad. También porque está circulando a distintas horas por lo que en ocasiones se encuentra con mucho tránsito y en otras, las calles completamente despejadas.

El primer día luego de haber recorrido durante las primeras horas del día 104,5 kilómetros, en un tránsito denso, el tanque se llena con 2,71 galones de combustible para un total de 38,45 kilómetros por galón, el segundo día se conduce en un horario más favorable y se logra realizar un recorrido de 133,54 kilómetros con 3,24 galones de combustible para un total de 41,25 kilómetros

por galón. El tercer día se realizan recorridos por la tarde con tránsito moderado y se logra hacer un recorrido de 119 kilómetros con 2,9 galones para un total de 40,2 kilómetros por galón, lo que indica un promedio 39,96 kilómetros por galón.

Las situaciones de tránsito y el constante alto de los semáforos y distintas señales, hacen que el consumo de combustible sea más elevado que en una carretera sin tanto obstáculo que superar, es por ello en la ciudad todo vehículo tiende a consumir más combustible.

4.1.4. Comparación de resultados

Podría interpretarse que el aumento en el rendimiento del combustible es la diferencia de carreteras, pues una es sinuosa y llena de curvas, otras dibujan una trayectoria en línea recta y el recorrido en ciudad es con constantes interrupciones. También se debe considerar que en una carretera sin tanta curva, la velocidad promedio es mucho mayor que en cualquier otra, siendo este un factor de gran importancia para el consumo de combustible, dado que a mayor número de revoluciones por minuto mayor será el consumo de combustible. Por ello fue que en la prueba se le exigió al vehículo un rendimiento uniforme para los tres casos.

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido en las tres pruebas, junto con las dadas por el fabricante y la EPA.

Tabla XI. **Datos de pruebas del consumo de combustible**

Consumo de combustible (km/galón)	Datos de EPA	Datos Obtenidos de 1 600 a 2 400 msnm	Datos obtenidos de 1 600 a 0 msnm	Datos de agencia
Carretera	48	51	56	53
Ciudad	37	40	40	42
Combinado	42	45	45	47

Fuente: elaboración a partir de los resultados obtenidos en las pruebas.

4.2. Comparación de resultados obtenidos en dinamómetro y especificaciones de fábrica del motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94

Con la prueba en el dinamómetro se busca establecer la diferencia de caballos de fuerza y torque de un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Editon 2003 con MCI Mitsubishi 4G94 con sistema de escape y admisión de fábrica y uno con sistema de escape *headers* y sistema de alto flujo de aire.

Los fabricantes siempre hacen referencia al caballaje que aporta el motor, es por eso que en el capítulo 1 se habla de 122 caballos de potencia y 129,35 libras-pie de torque, pero este número se ve reducido cuando se trata de evaluar la potencia que entrega el vehículo, pues con el peso la potencia que entrega el motor se ve reducida.

Según las pruebas realizadas en dinamómetro por el fabricante de accesorios K&N, un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2 003 con sistema de

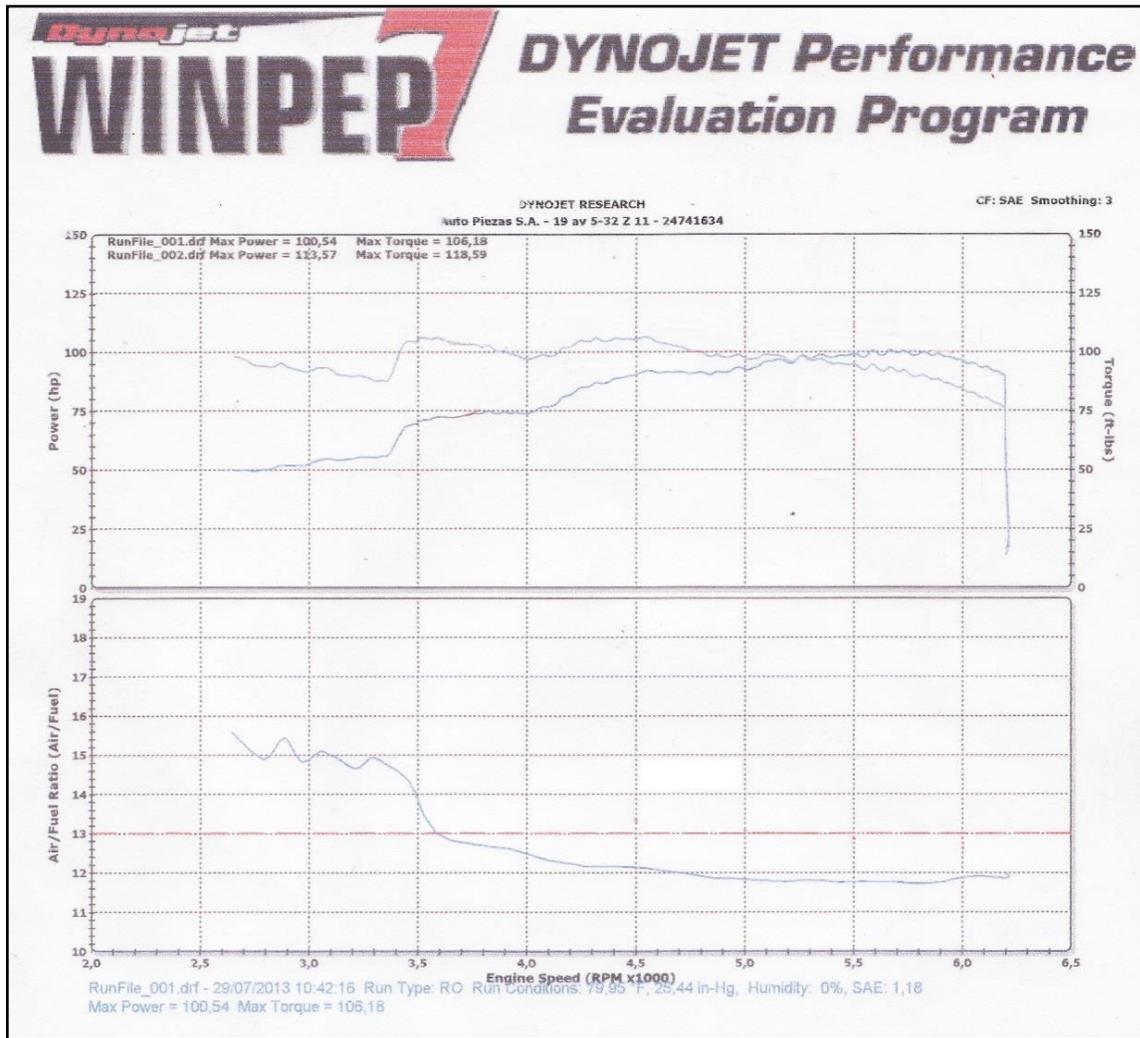
escape y sistema de admisión de fábrica tiene 81,75 Hp y 95,61 libra-pie de torque, y con su sistema de alto flujo de aire genera 86,01 Hp y 100,6 libra-pie de torque, también MagnaFlow señala que sus *headers* aumentan 10 Hp y 10 libra-pie de torque, con esto se tiene que un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003 tiene que generar aproximadamente 15 Hp y 15 libras-pie de torque con sistema de escape *headers* y sistema de admisión de alto flujo de aire.

Otros estudios realizados por ProjectLancer hacen referencia a que un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2002 y 2003 genera alrededor de unos 84,33 caballos de fuerza y unos 88,33 libra-pie de torque. A continuación se muestra la gráfica obtenida en el dinamómetro del vehículo de pruebas.

En la siguiente figura se observa la trayectoria de la gráfica ascendiendo hasta llegar a su punto máximo que es donde se encuentra la máxima potencia del vehículo, estos es en 100,54 caballos de fuerza y 106,18 libra-pie de torque, aunque, el promedio de cuatro pruebas realizadas da como resultado 94,35 caballos de fuerza y 103,61 libra-pie de torque.

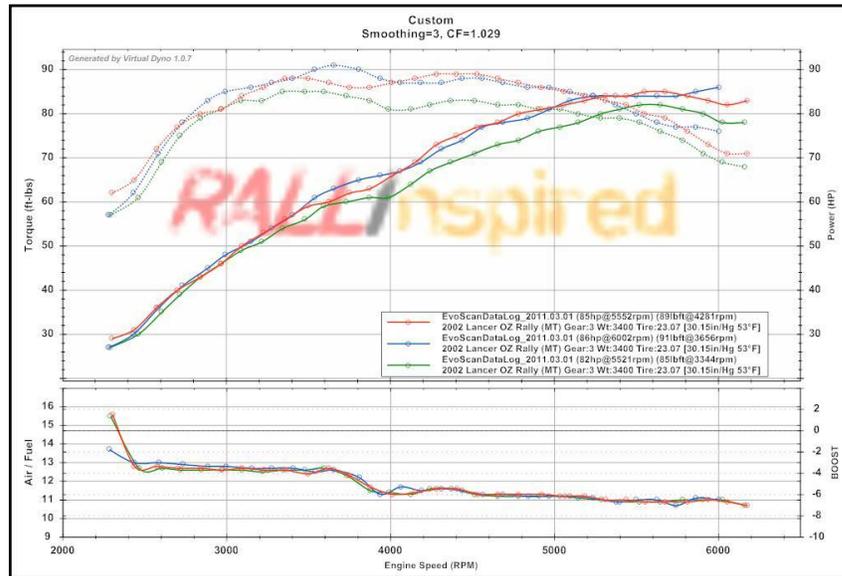
También se observa la relación aire-combustible que se mantiene oscilando en 14,7 hasta llegar a 3 500 RPM. Es ahí donde llega por debajo de 12 hasta el final. Es evidente que la relación 14,7:1 no se mantiene y se torna en una mezcla rica de combustible pues el aire no logra entrar lo suficientemente rápido para cumplir con dicha relación. Si esto ocurre con un sistema de admisión de alto flujo de aire, con el sistema de fábrica la relación aire-combustible sería aún más baja, así como se muestra en la figura 26.

Figura 25. Gráfica de potencia obtenida en el dinamómetro Dynojet de Autopiezas S.A.



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Gráfica de potencia obtenida en el dinamómetro por
ProjetLancer.net**



Fuente: ProjetLancer.net Consulta: marzo de 2013

4.2.1. Interpretación de resultados

En la gráfica del dinamómetro se puede observar el incremento de la potencia del vehículo, y con las pruebas que se realizaron es evidente que los resultados son positivos, pues el consumo de combustible mejoró notablemente, por lo que la tecnología *Bolt-on* es aplicable para un aumento de potencia y mejora en el rendimiento del vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003, que posee un motor de combustión interna ciclo Otto Mitsubishi 4G94.

Este aumento de potencia con los *headers* de diseño 4-2-1 y sistema de alto flujo de aire en este estudio es aplicable únicamente al Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003, pues por la forma de operación puede que en otro vehículo exista un aumento de potencia pero el consumo de combustible se vea

afectado negativamente. En la siguiente tabla se observan los diferentes resultados de vehículos Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003 en el dinamómetro.

Tabla XII **Datos de vehículos con y sin accesorios *Bolt-on***

Modificado	No	Si (de prueba)	Si	Si
Potencia Hp	84,33	94,35	115,52	108,5
Torque libra-pie	88,33	103,61	S/E	118,5
Altitud msnm	200	1 400	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta la variación de potencia, dependiendo la altitud, se puede concluir que en efecto, por cada mil metros se pierde un 10 % de potencia. Y aunque sí es evidente que la altitud afecta la potencia de los vehículos, los accesorios *Bolt-on* son eficaces cuando se trata de aumentar la potencia del vehículo y ayudan a mejorar el rendimiento del mismo, tal y como se ve en las pruebas de dinamómetros.

CONCLUSIONES

1. La densidad está inversamente relacionada con la altitud, a más altura, la presión del aire es menor, por lo que la densidad disminuye lo que hace que el aire sea más fino, esto indica que también sus componentes se ven reducidos, porque aunque se mantienen constantes en porcentaje, su densidad varía junto con la del aire. Por lo tanto, en un volumen determinado de aire a 1 000 metros sobre el nivel del mar hay menos oxígeno que en el mismo volumen de aire a nivel del mar.
2. Si el aire es menos denso significa que a mayor altura menor será la concentración de oxígeno por volumen de aire, esta cantidad de oxígeno es indispensable para mantener la combustión óptima.

En el capítulo 1 se habla de una relación de oxígeno combustible que, a mayor altura, complica esta relación haciendo que la combustión sea pobre y, en consecuencia, no se genere la potencia requerida para mantener un buen rendimiento.

$14,7$ (*partes de aire*) * 21 %(*oxígeno en el aire*)

$4,116:1$ (*partes de oxígeno por partes de combustible*)

Esto se da a nivel del mar, por lo que según la tabla II, la densidad del aire cae un 9 % por cada mil metros de altura.

3. La principal causa de la pérdida de potencia en un MCI ciclo Otto debido al cambio de altitud es que disminuye la presión atmosférica, esto hace que el aire sea empujado al sistema de admisión con menor fuerza. Además, a esto se suma que la densidad del aire disminuye también con la altitud, por lo que en conjunto hace que el MCI ciclo Otto pierda potencia.
4. Con el rendimiento por debajo de lo normal debido a la altitud, es evidente la pérdida de potencia pues el aire no entra con suficiente fuerza y a eso se le suma que el poco aire que entra no tiene la misma cantidad de oxígeno que tuviera a nivel del mar. El consumo excesivo de combustible se debe en su mayor parte al momento de tratar de compensar la pérdida de potencia acelerando más el vehículo, esto hace que se esfuerce más de lo normal provocando un consumo excesivo de combustible.
5. Los resultados de las pruebas hechas en los diferentes recorridos demuestran que aunque la diferencia de kilómetros por galón de combustible es de 3 kilómetros, para un vehículo que recorre frecuentemente este tramo de carretera será de gran ayuda para el consumo de combustible.
6. Los accesorios *Bolt-on* demostraron ser una buena solución para contrarrestar la pérdida de potencia debido a la altitud, que aunque las condiciones que presenta el aire a mayor altitud son perjudiciales para una buena combustión. Un sistema de alto flujo de aire puede ayudar a que el volumen de aire que entra a los cilindros sea el máximo posible. También logrando una mayor presión de salida de los gases de escape se logra vencer aún mejor a la contrapresión que provoca la presión

atmosférica en la salida del sistema de escape.

Esta solución aumenta el rendimiento del MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94 a cualquier altura y logra aumentar su eficiencia en el consumo de combustible, que aunque no se compara con las especificaciones de los fabricantes supera a los vehículos sin modificar.

RECOMENDACIONES

1. Los estudios fueron realizados en un Mitsubishi OZ Rally-Edition 2003 con un MCI ciclo Otto Mitsubishi 4G94, si bien es cierto en cualquier vehículo habrá aumento de potencia y mejora de rendimiento, no se debe suponer los mismos resultados en cuanto a cantidades.
2. Utilizar elementos específicos para cada vehículo. Entre los más importantes se encuentra el tipo de aceite para el motor (grado de viscosidad), la gasolina (número de octanos) pues esta se emplea dependiendo la relación de compresión del motor, el tamaño de los neumáticos y presión de inflado, entre otros, por lo que es de gran utilidad seguir las indicaciones del fabricante para no variar el rendimiento del vehículo.
3. Llenar el tanque de combustible en las mañanas o por las tardes, pues en esos momentos las temperaturas son más bajas y la gasolina es más densa, lo que permite más gasolina por el mismo precio que si hiciera mucho calor. Nunca llenar cuando estén llenando los depósitos en las estaciones, porque esto provoca que se desprendan los sedimentos que hay en el fondo de los tanques de almacenamiento, lo que perjudica el motor de los vehículos, pues el combustible trae suciedad.
4. Mantener el tanque de combustible con, por lo menos, un cuarto de su capacidad, para prevenir daños en los componentes del sistema de inyección.

5. En cuanto la situación lo permita hay que compresionar. Lo que se tiene que hacer aquí, es ir cambiando de velocidad en velocidad a una más baja. Es decir, si se va en quinta velocidad reducir la marcha cambiando a cuarta y así sucesivamente hasta llegar a la velocidad deseada, con ello se reducirá la velocidad notablemente sin verse en la necesidad de sobrecargar los frenos. También es recomendable no acelerar ni frenar bruscamente pues con esto se consume más combustible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Borg Warner Turbo Systems. *Ventajas de la turbo alimentación por gases de escape*, ©2002-2011. [en línea] <<http://www.turbos.bwauto.com/es/products/turbochargerAdvantages.aspx>>. [Consulta: julio de 2017].
2. CELIS, Enrique. *Turbo cargador*. <<http://automecanico.com/auto2007/turbo1.html>>. [en línea]. [Consulta: agosto 2011].
3. CENGEL, Yunus A., BOLES, Michael A. *Termodinámica*. 6ª. ed. México: McGraw-Hill, 2009. 1 008 p.
4. CROUSE H. William. *Motores de automóviles*. 1a ed. México: Macrombo, 1981. 446 p.
5. GRAHAM BELL, A. *Four-Stroke performance tuning*. 3a ed. Inglaterra: Haynes, 2006. 252 p.
6. Guatemala un breve resumen. *Clima y terreno*. [en línea] <es.slideshare.net/span335a/guatemala-un-breve-resumen>. [Consulta: marzo de 2013].
7. HEYWOOD B., John. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. 1a ed., Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 1998. 930 p.

8. HOWELL R. John, BUCHIUS O. Richard, *Principios de Termodinámica para Ingeniería*. 1a ed. México: McGraw-Hill, 1 990. 713 p.
9. Mitsubishi Motor Sales of America Inc. *2 003 Mitsubishi Lancer workshop manual vol. 2*. 1a ed. EE.UU: MSSP, 2002. 106 p.
10. OSKARSSON, Oscar F. *Revista motores y más*. [en línea]. <<http://www.motoresymas.com/blog/2012/10/08/la-potencia-en-el-motor-y-el-escape/>>. [Consulta: octubre de 2016].
11. PULKRABEK W. Willard, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 2a ed. EE. UU: PearsonIN, 1997. 168 p.
12. Revista Mecánica Popular. *Cómo funciona el Turbocargado*. [en línea]. <www.mimecanicapopular.com/ver.php?a=1986&m=8>. [consulta: febrero de 2012].
13. RUSS, Carey. *Official website of the new car buyer*. [en línea]. <<http://theautochannel.com/vehicles/new/reviews/2002/russ0145.html>>. [Consulta: febrero de 2012].
14. Toyota Motor Sales. *Air flow sensor*. [en línea]. <<http://www.1130cc.com/forums/attachment.php?attachmentid=18725&d=1102507227>>. [consulta: marzo de 2013].
15. Toyota Motor Sales. *Oxygen air fuel sensor*. [en línea]. <<http://www.lovehorsepower.com/ToyotaPDFs/37.PDF>>. [consulta: marzo de 2013].

16. U.S. Department of Energy. *Fuel economy*. [en línea]
<www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=18574>.
[Consulta: 1 febrero de 2013].
17. Wikipedia la enciclopedia libre. *Presión atmosférica*. [en línea]
<http://es.wikipedia.org/wiki/Presión_atmosférica>.
[consulta: febrero de 2012].

APÉNDICES

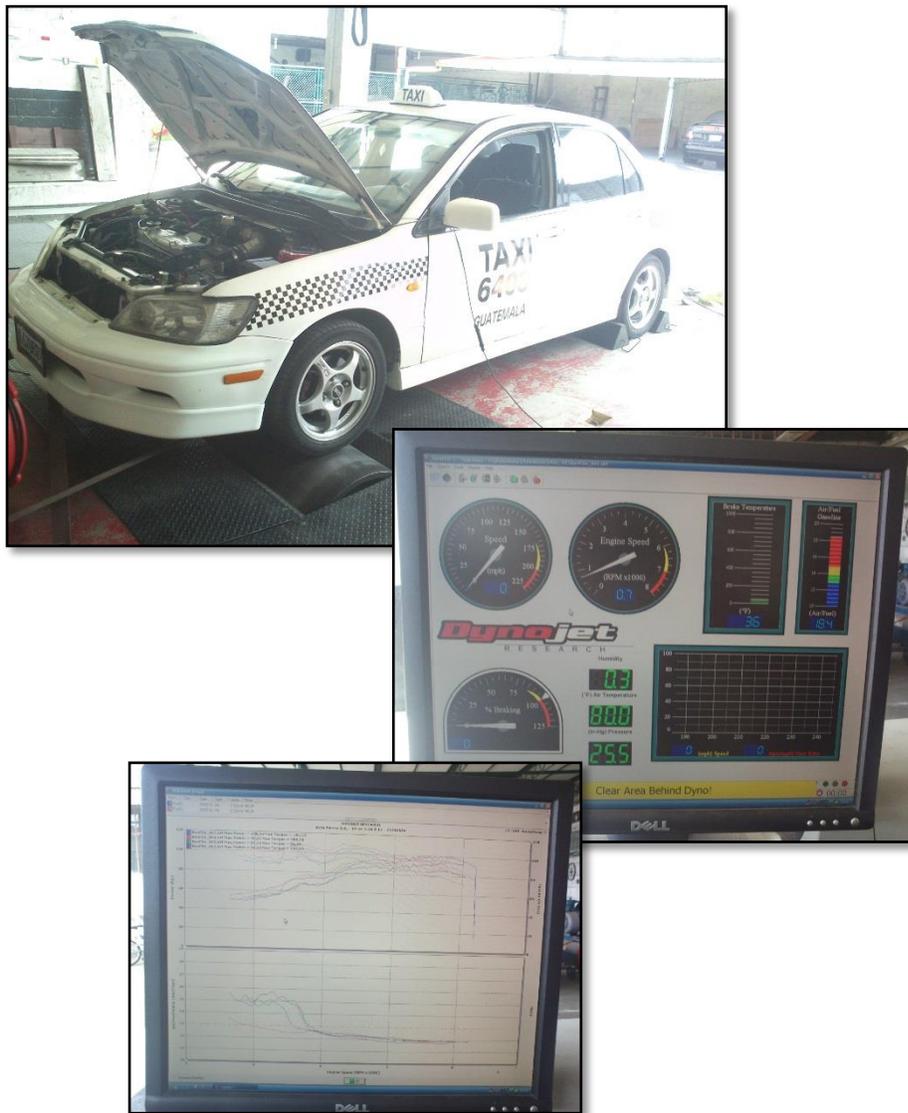
Apéndice 1. **Calculo de consumo de combustible de un vehículo.**

Paso 1	Llenar el tanque de gasolina del vehículo completo y anotar la lectura del cuentakilómetros del vehículo (odómetro).
Paso 2	Cuando llegue el momento de llenar el tanque de nuevo, llénelo completamente y anote el número de galones con que se llena y anote la nueva lectura del cuentakilómetros del vehículo. Una vez que se toman dos lecturas del cuentakilómetros, los kilómetros por galón pueden ser calculados.
Paso 3	El cálculo de la distancia recorrida se obtiene restando la primera lectura menos la nueva lectura.
Paso 4	Dividiendo el número de kilómetros recorridos por el número de galones con que se llenó el depósito. Se obtiene el resultado en kilómetros por galón del vehículo para ese período de conducción.

Fuente: elaboración propia.

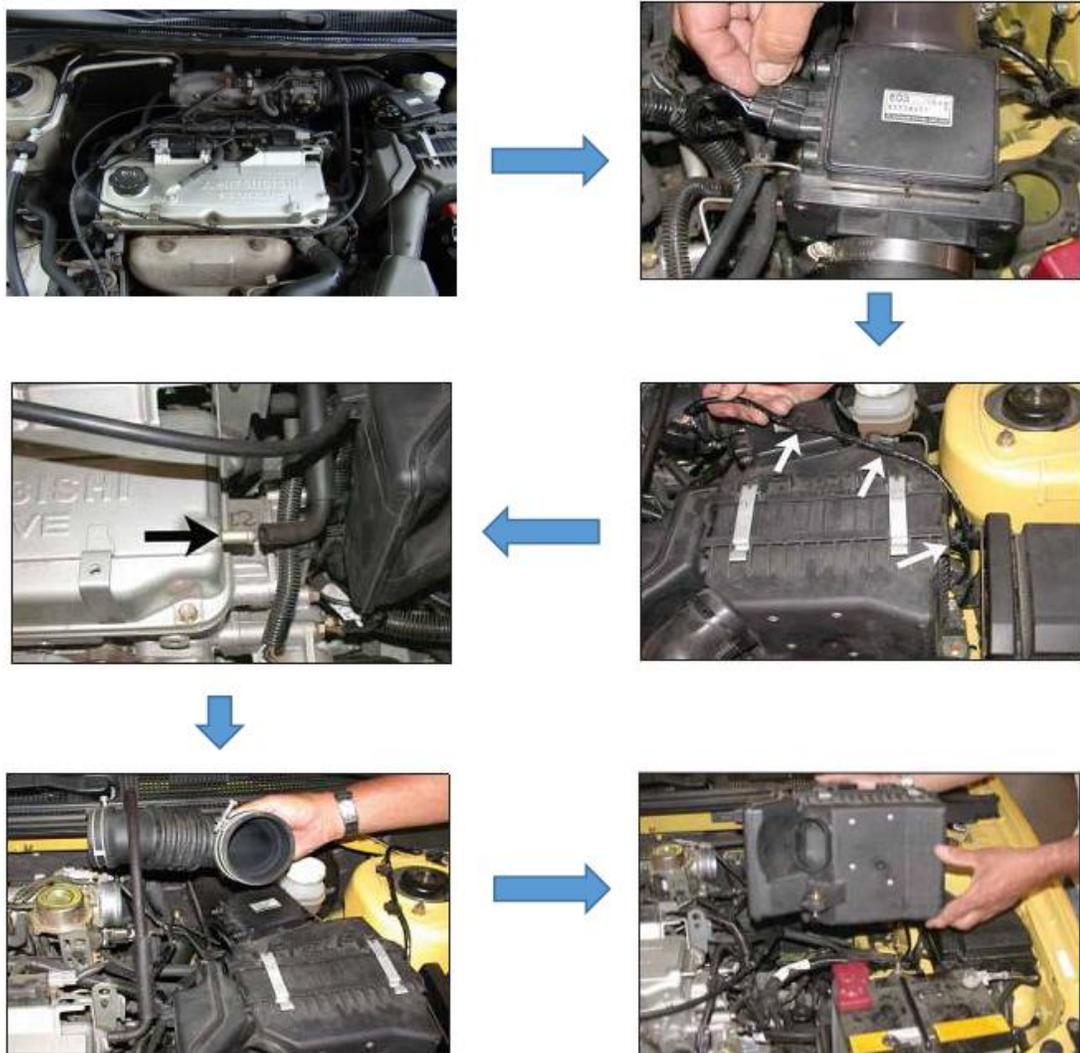
Apéndice 2. Prueba en dinamómetro.

Secuencia fotográfica de la prueba en dinamómetro del vehículo Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003 en Dynojet Autopiezas S.A.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Reemplazo de sistema de admisión en un Mitsubishi Lancer OZ Rally-Edition 2003, por uno de alto flujo de aire.**



Fuente: elaboración propia.

Continuación de apéndice 3.



Fuente: elaboración propia.