

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

Facultad de Ingeniería Automotriz

Estudio de la optimización de flujo en la culata del vehículo  
Chevrolet Aveo 1600 cm<sup>3</sup> DOHC mediante pruebas de Flujo

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
ingeniero automotriz

Frank Carlos Gavilánez Heras  
Danny Ramiro Gallardo Jácome

Ing. Juan Fernando Iñiguez

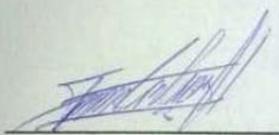
Quito Agosto, 2014



## CERTIFICACIÓN

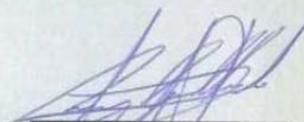
Nosotros, Frank Carlos Gavilánez Heras y Danny Ramiro Gallardo Jácome, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Frank Gavilanez H.

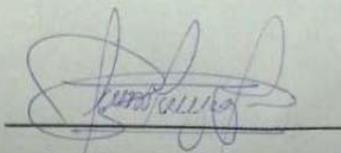
Ci: 1714488770



Danny Gallardo J.

Ci: 0502315443

Yo, Juan Fernando Iñiguez certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Ing. Juan Fernando Iñiguez MSC

Director del Proyecto de Grado

## **DEDICATORIA**

A mis padres y mi hermana que con su esfuerzo y apoyo he logrado cumplir un objetivo más en mi vida y en especial a mi hijo Ian quien es mi inspiración para seguir adelante

Danny Gallardo

## **DEDICATORIA**

A mis padres, ya que el presente es reflejo del esfuerzo y apoyo que me han brindado en toda mi vida y más aún en mi etapa de estudios universitarios, ya que para ellos el orgullo más grande es poder llegar a ser un profesional en lo que más me gusta.

Frank Gavilánez

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de concluir mis estudios, así mismo quiero agradecer a mis padres, mi hermana, mis abuelos mis tíos y mis tías por todo el apoyo y respaldo brindado durante mi carrera universitaria.

Al Ing. Juan Fernando Iñiguez por su ayuda y aporte durante el desarrollo de este proyecto.

A todo el equipo de docentes de la Universidad internacional del Ecuador que durante mi carrera han aportado con su experiencia y conocimientos para concluir mis estudios.

A las personas que de una u otra manera aportaron para mi desarrollo personal y profesional.

Danny Gallardo J.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero dar gracias a Dios por darme la oportunidad de estudiar haciendo lo que más me gusta, a mis padres, que han sido mi apoyo incondicional, en todos los momentos de mi vida, a toda mi familia que día a día han sido el aliento para seguir adelante y poder cumplir con los retos que se han presentado.

Al Ing. Juan Fernando Iñiguez por compartir sus conocimientos, brindarnos su ayuda y apoyo para la culminación del presente proyecto

A todo el personal docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz que con cada uno de sus conocimientos y experiencia me han brindado sus enseñanzas y experiencias durante toda mi carrera profesional.

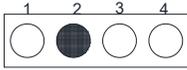
Frank Gavilanez.

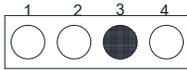
## Índice de contenido

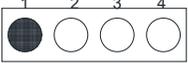
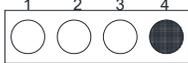
1. Introducción.....	29
1.1 Flujometría.....	32
1.2 Mecánica de Fluidos .....	35
1.3 Principio de Bernoulli.....	37
1.4 Caracterización de la admisión .....	39
1.5 Fluido Newtoniano.....	41
1.6 Flujo Laminar.....	42
1.7 Flujo Turbulento.....	43
1.7.1 Régimen Turbulento Liso.....	44
1.7.2 Régimen Turbulento de Transición .....	44
1.7.3 Régimen Turbulento Rugoso.....	44
1.8 Número de Reynolds.....	45
1.8.1 Número de Reynolds en flujo laminar .....	47
1.8.2 Número de Reynolds en flujo turbulento .....	48
1.9 Ecuación de Continuidad .....	49
1.10 Flujometro .....	50
1.11 Tipos de Flujometro .....	52
1.11.1 Medidor de Flujo de Aire de Hilo Caliente.....	53
1.11.2 Medidor de Flujo de Aire de Lámina Caliente .....	54
1.11.3 Medidor de Flujo de Aire del Sistema “KARMAN VORTEX” 55	
1.11.4 Medidor de Depresión de Aire Aspirado .....	57
1.12 Instrumentos Para la Medición de Velocidades de Flujo.....	58
1.12.1 Tubo Pitot .....	58
1.12.2 Tubo de Prandtl .....	59
1.13 Ventiladores .....	60
1.14 Clasificación de los ventiladores.....	61
1.14.1 Clasificación según la presión total desarrollada.....	61
1.14.2 Clasificación según la dirección de flujo .....	61
1.15 Teoría de los ventiladores.....	62
1.16 Componentes del motor aplicados a Flujometría .....	63

1.16.1	Culata .....	63
1.16.2	Materiales de Construcción de la Culata .....	64
1.16.3	Tipos de culata .....	65
1.16.4	Válvulas .....	68
1.16.5	Disposición de las válvulas .....	70
1.16.6	Guías de Válvulas .....	71
1.16.7	Eje de Levas.....	71
1.16.8	Factores que Influyen en la Potencia y en el Rendimiento Volumétrico .....	73
1.17	Rendimiento Volumétrico.....	74
1.18	Relación de Compresión.....	75
1.19	Coeficiente de descarga. ....	77
1.20	Campo de Velocidades.....	79
1.20.1	Enfoque global.....	79
1.20.2	Enfoque multidimensional .....	80
1.21	Ciclo de aire ideal.....	80
1.21.1	Ciclo de aire a volumen constante .....	80
1.21.2	Ciclo de aire a presión limitada .....	81
1.21.3	Ciclo de aire a presión constante.....	81
1.22	Presión de la admisión.....	82
1.23	Presión de Escape.....	83
1.24	Geometría de la cámara de combustión.....	83
1.24.1	Geometría tipo Cuña: .....	83
1.24.2	Geometría hemisférica .....	84
1.24.3	Geometría labrada.....	84
1.25	Factores geométricos que afectan el rendimiento volumétrico	85
1.25.1	Sección de paso de la válvula.....	85
1.26	Geometría del colector de Admisión.....	86
1.27	Reflexión de la onda de depresión al final del colector .....	87
1.28	Régimen de giro del motor.....	89
1.29	Temperatura ambiente y temperatura del motor .....	90
2	Análisis y modificación de la culata .....	91

2.1	Cálculo de velocidad de gases en conductos de admisión .....	91
2.1.1	Velocidad de gases en la válvula (Vgv) .....	92
2.1.2	Velocidad de los gases en el asiento de la válvula (Vga) .....	93
2.1.3	Velocidad de gases en el conducto (VGc) .....	93
2.1.4	Resultados Obtenidos con el EES .....	93
2.2	Modificaciones en toberas de admisión .....	94
2.3	Condiciones ideales de la tobera de admisión .....	94
2.3.1	Turbulencia de los gases en la admisión .....	95
2.3.2	Trabajos en los conductos de admisión .....	96
2.3.3	Conductos de escape .....	98
2.4	Trabajos En El Cabezote .....	99
2.4.1	Pulido de la Cámara de Combustión .....	99
2.4.2	Trabajos en válvulas y asientos de válvulas .....	100
2.4.3	Trabajos a Realizarse en los Pasajes de las Válvulas .....	101
2.4.4	Trabajos En Los Ejes De Levas .....	104
2.4.5	Perfil de Levas .....	105
2.5	Calculos de flujado conductos modificados .....	108
2.5.1	Velocidad de gases en el conducto (VGc) .....	108
2.6	Mecanizado de la culata .....	109
2.7	Resultados en el mecanizado del cabezote .....	114
3	Protocolo de experimentación .....	115
3.1	Preparación de la Culata .....	115
3.2	Puesta a punto del Medidor de Flujo .....	115
3.3	Formato para la medición de flujo .....	116
3.4	Pruebas de flujo en conductos estándar .....	117
3.5	Pruebas de Flujo en conductos mejorados .....	118
3.6	Análisis de Resultados: .....	119

3.6.1	Primera cámara estándar		.....	119
-------	-------------------------	--	-------	-----

3.6.2	Segunda cámara estándar		.....	119
-------	-------------------------	--	-------	-----

3.6.3	Primera cámara modificada		..... 119
3.6.4	Segunda cámara modificada		..... 120
3.7	Discusión		..... 120
3.8	Ciclo Cima		..... 122
3.8.1	Resultados obtenidos		..... 126
	Conclusiones		..... 129
	Recomendaciones		..... 133
	Bibliografía		..... 134

## Índice de figuras.

FIG. No.1.1 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO .....	33
FIG. No.1.2 TRAYECTORIA DE LÍNEAS DE CORRIENTE FLUJO LAMINAR .....	34
FIG. No.1.3 INSTRUMENTO PARA IDENTIFICAR TIPO DE FLUJO.....	34
FIG. No.1. 4 DIFERENTES TIPOS DE FLUJOS .....	35
FIG. No.1.5 PRINCIPIO DE BERNOULLI.....	38
FIG. No.1.6 FLUIDO NEWTONIANOS .....	41
FIG. No.1.7 FLUJO LAMINAR.....	42
FIG. No.1.8 FLUJO TURBULENTO .....	43
FIG. No.1. 9 PERFIL FLUJO LAMINAR.....	48
FIG. No.1.10 PRINCIPIO DE CONTINUIDAD .....	49
FIG. No.1.11 FLUJOMETRO .....	51
FIG. No.1. 12 FLUJOMETRO DE HILO CALIENTE .....	54
FIG. No.1.13 FLUJOMETRO DE LÁMINA CALIENTE .....	55
FIG. No.1.14 MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE KARMAN VORTEX.....	56
FIG. No.1.15 MEDIDOR DE PRESIÓN DE AIRE ASPIRADO .....	57
FIG. No.1.16 TUBO DE PITOT .....	59
FIG. No.1.17 TUBO DE PRANDTL .....	60
FIG. No.1.18 ALABES DE TURBINA .....	61
FIG. No.1.19 CULATA DE MOTOR .....	64
FIG. No.1.20 TIPOS DE CULATAS .....	68
FIG. No.1.21 VÁLVULAS DEL MOTOR .....	69
FIG. No.1. 22 GUÍAS DE VÁLVULAS .....	71
FIG. No.1.23 ÁRBOL DE LEVAS.....	72
FIG. No.1.24 DIMENSIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA .....	79
FIG. No.1.25 CICLO DE AIRE A VOLUMEN CONSTANTE .....	80
FIG. No.1.26 CICLO DE AIRE A PRESIÓN LIMITADA.....	81
FIG. No.1.27 CICLO DE AIRE A PRESIÓN CONSTANTE .....	82
FIG. No.1.28 DIAGRAMA DE PRESIÓN DE ADMISIÓN.....	83
FIG. No.1.29 GEOMETRÍA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN .....	84
FIG. No.1.30 SECCIÓN DE PASO DE VÁLVULA .....	85
FIG. No.1.31 MOVIMIENTO DEL AIRE EN EL PASO DE LA VÁLVULA .....	86
FIG. No.1.32 MOVIMIENTO DE FLUJO EN LA ADMISIÓN .....	89
FIG No.2.1 DISEÑO IDEAL DEL COLECTOR DE ADMISIÓN .....	95
FIG No.2.2 FLUJO HORIZONTAL EN LA ADMISIÓN .....	96
FIG No.2. 3 RECORTE DE VÓRTICES TOBERA DE ADMISIÓN.....	97
FIG No.2.4 MODIFICACIONES EN LA TOBERA DE ADMISIÓN .....	97

FIG No.2. 5 TOBERA DE ADMISIÓN RETOCADA.....	98
FIG No.2.6 TOBERA DE ESCAPE FLUJADO .....	98
FIG No.2.7 CÁMARA DE COMBUSTIÓN MULTIVALVULAR .....	100
FIG No.2.8 ASIENTO DE VÁLVULA ESCARIADO .....	101
FIG No.2.9 ESCARIADO DE GUÍA DE VÁLVULA .....	102
FIG No.2. 10 DISPOSICIÓN DE ANILLOS DE VÁLVULAS .....	103
FIG No.2.11 MAQUINADO DE ASIENTO DE VÁLVULA .....	103
FIG No.2.12 GUÍA DE VÁLVULA REBAJADA .....	104
FIG No.2.13 PERFIL DE LEVA DE ALTO DESEMPEÑO.....	105
FIG No.2.14 DIFERENCIAS ENTRE EJES DE LEVAS.....	106
FIG No.2.15 PREPARACIÓN DE LA CULATA.....	110
FIG No.2.16 COMPROBACIÓN DE ASIENTO DE MÚLTIPLES.....	110
FIG No.2.17 PULIDO DE TOBERAS DE ADMISION .....	111
FIG No.2.18 ALISAMIENTO INTERIOR DE CONDUCTOS .....	111
FIG No.2.19 ALISAMIENTO DE CONDUCTOS.....	112
FIG No.2. 20 PULIDO DE CONDUCTOS.....	112
FIG No.2.21 PULIDO DE CONDUCTOS DE ADMISIÓN.....	113
FIG No.2. 22 PULIDO DE CONDUCTOS DE ESCAPE .....	113

FIG. No.3. 1 DATOS OBTENICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.....	128
FIG. No.3. 2 TEMPERATURA VS PODER CALORIFCO OBTENIDO .....	128

### Índice de tablas

TABLA No.1.1VALORES DE PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.....	36
TABLA No.1.2 CARACTERÍSTICAS DE ALEACIONES .....	65

TABLA No.2.1DATOS DEL VEHICULO .....	91
TABLA No.2. 2 MODIFICACIONES DE LOS CONDUCTOS .....	114

TABLA No.3. 1 PRUEBA EN PRIMER CONDUCTOS ESTÁNDAR.....	117
TABLA No.3. 2 PRUEBA EN SEGUNDO CONDUCTOS ESTANDAR .....	117
TABLA No.3. 3 PRUEBA EN PRIMER CONDUCTO MODIFICADO .....	118
TABLA No.3. 4 PRUEBA EN SEGUNDO CONDUCTO MODIFICADO .....	118

Estudio de la optimización de flujo en la culata del vehículo Chevrolet  
Aveo 1600 cm<sup>3</sup> DOHC mediante pruebas de Flujo

El presente proyecto tiene como finalidad poder hacer comprobable los trabajos de mejoramiento y flujeado en los conductos de admisión de una culata para así aumentar la eficiencia de llenado de la cámara de combustión, por consiguiente tener un aumento en el rendimiento volumétrico de un motor atmosférico.

Los trabajos de modificación de un cabezote, empiezan básicamente tomando los parámetros más relevantes que son diseño de construcción del fabricante y capacidad de llenado en la cámara de combustión, los mismos que serán comprobados con un flujometro de flujo regulable.

Con la investigación que realizamos podemos evaluar y comprobar el mejoramiento de aspiración de un motor atmosférico, tomando como base la construcción y diseño del fabricante.

Alterando estos parámetros obtenemos un mejoramiento volumétrico por el aumento, optimización y velocidad del flujo en la culata.

Logrando así elevar al máximo los parámetros de flujo por cilindro y mantenerlos uniformes en todos los cilindros, haciendo eficiente el trabajo de flujado en los conductos

optimization study about flowing in the cylinder head of a Chevrolet Aveo 1600 cm<sup>3</sup> DOHC vehicle by flow tests

The next Project has the aim to prove the improvement and flow Works in the admisión conducts of a cylinder head, and get a better efficiency about the filling the combustion chamber and finally get a hit in the volumetric aspirated engine.

The modification work of a cylinder head stars basically taking the relevant parameters of desing by the manufacturer and filling capacity of combustión chamber, the same will be proved with a flowmeter adjustable flow.

With the search we did can value and prove the improvement of an aspiration of an atmospheric engine based on the construction and design of the manufacturer

alternating these parameters we obtain an improvement by increasing volumetric and speed optimization about flow in the cilinder head making so lift the maximum flow parameters in a cylinder and keep them uniform throughout the cylinder efficiently doing work about flow in all lines

Estudio de la optimización de flujo en la culata del vehículo Chevrolet  
Aveo 1600 cm<sup>3</sup> DOHC mediante pruebas de Flujo

## 1. Introducción

En la modificación y preparación de motores de combustión interna, el mejoramiento en los conductos de admisión, como de escape nos representa una ganancia de potencia ya que aumentamos el flujo de aire de entrada como el de salida.

De esta manera, esta modificación no se la puede comprobar, ya que no hay un equipo especializado en medición y comparación después de la modificación realizada.

¿Es posible comprobar esta modificación antes de volver a instalar el cabezote en el vehículo?

¿En qué porcentaje podemos mejorar el rendimiento volumétrico de un motor de combustión interna?

¿Qué tan eficiente resulta realizar este trabajo en la culata?

Es así que como objetivos tenemos:

Determinar el flujo óptimo del cabezote del vehículo marca Chevrolet Aveo después de las modificaciones y maquinado

Diseñar un mecanismo de medición de flujo de entrada de aire al cabezote

Determinar las modificaciones ideales para optimizar el flujo de aire en el cabezote

Mejorar el rendimiento del cabezote modificado en relación al cabezote estándar

Establecer parámetros a tomar en cuenta para la perfecta modificación de un cabezote.

Si tuviéramos un equipo donde podamos comparar el aumento de flujo de aire tanto de entrada como de salida, podemos sustentar el aumento de potencia, por el aumento de rendimiento volumétrico.

Es por eso que la idea se enfoca en la comprobación de la preparación de un cabezote, probando bajo parámetros comprobables, en la ciudad de Quito a 2800 mts de altura a nivel del mar, para así hacer un comparativo entre dos conductos, dos estándar y dos modificado de un vehículo de calle a ser modificado y así poder conseguir el flujo óptimo del cabezote del vehículo a trabajar después de las modificaciones y maquinado en este caso el vehículo escogido es un Chevrolet Aveo 1.6L., entonces para obtener los resultados que esperamos vamos realizar

pruebas con un mecanismo de medición de flujo de entrada de aire hacia el cabezote, pero previo a esto determinaremos las modificaciones ideales para optimizar el flujo y así mejorar el rendimiento del cabezote modificado en relación al cabezote estándar y así mismo estableceremos parámetros para la perfecta modificación de este cabezote.

En el medio en el que nos encontramos se ha evidenciado un importante crecimiento en lo que es preparación de motores pero se lo hace artesanalmente es decir no usamos las herramientas que deberíamos usar especialmente en lo que es el cabezote. De aquí la importancia de usar la herramienta adecuada ya que, es en el cabezote donde se realiza un 80% de las modificaciones del motor.

En la actualidad el problema que existe con la modificación de los cabezotes es que cuando se máquina y abre las toberas no se sabe con exactitud la medida que necesitaremos para conseguir un mejor rendimiento del mismo y entonces nos resulta imposible saber en qué porcentaje mejorará el rendimiento del motor ya que sabemos que después de la preparación del motor las pruebas realizadas en pista son las que nos indicarán si se ha hecho bien o no el trabajo pero no debemos olvidar que mediante un banco de pruebas podemos cuantificar exactamente en qué porcentaje hemos mejorado el rendimiento de este motor y saber en qué punto hicimos bien nuestro trabajo y así mismo determinar las fallas.

Para la comprobación de un cabezote modificado la única prueba que podemos realizar para notar su mejora después de una modificación es el uso de un medidor de flujo. Con un banco de pruebas, podemos realizar varias pruebas en base a modificaciones a un cabezote, que nos pueden ayudar para mejorar en ciertos parámetros o trabajos que se realiza en el cabezote.

Nuestra investigación se centra en la prueba y comprobación de resultantes en la región andina, donde tenemos mayor presión atmosférica, y un menor nivel de oxígeno en el ambiente. Con este banco de pruebas, podemos dar fe de una mejora en el desempeño de un motor de combustión interna, como de la modificación realizada y parámetros a tomar en cuenta al momento de la modificación.

## **1.1 Flujometría**

Lo que hablaremos en este capítulo es acerca de los fluidos en movimiento, tomando como parámetro un fluido ideal, carente de razonamiento interno o viscosidad e incompresible, esta última cualidad del fluido constituye una excelente aproximación cuando hablamos de fluidos líquidos, aunque se puede aplicar con gran acierto a los fluidos gaseosos, siempre y cuando las fluctuaciones de presión no sean considerables.

A continuación se muestra en el grafico un ejemplo de flujo laminar y de flujo turbulento, respectivamente.

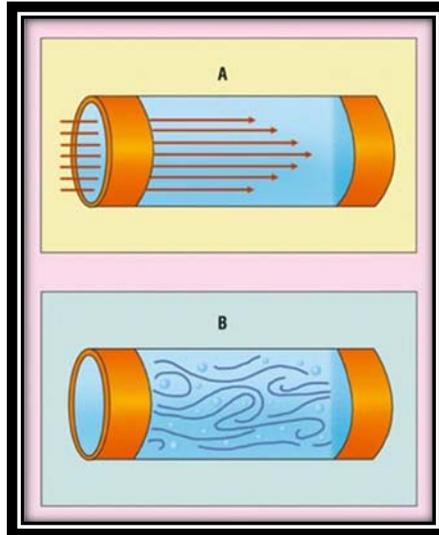


Fig. No.1.1 Flujo laminar y turbulento

Fuente: (Mataix, 1986)

Internamente los fluidos en movimiento están expuestos a rozamiento que produce un esfuerzo cuando dos capas contiguas se mueven una con respecto a la otra como se muestra en la siguiente figura, aunque pueden ser despreciables en comparación a otras fuerzas como la gravitatoria y las que se producen por cambios de presión. La trayectoria seguida por un elemento de un fluido móvil se denomina línea de flujo. Generalmente la velocidad del flujo fluctúa en magnitud y dirección a lo largo de la línea de flujo. Si los elementos que pasan por una misma sección siguen la misma línea de flujo que los elementos que les preceden se denomina flujo estacionario. Al iniciar el movimiento, el flujo no es estacionario, pudiendo en algunos casos transformarse en estacionario después de algún tiempo.

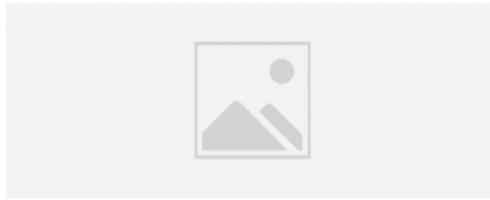


Fig. No.1.2 Trayectoria de líneas de corriente flujo laminar

Fuente: (Mataix, 1986)

La velocidad en cada punto de la sección de un tubo no varía si el flujo es estacionario, teniendo en cuenta que una determinada partícula puede acelerar al pasar de un punto a otro. (Mott, 1996)

El flujo de un fluido en una tubería puede ser laminar o turbulento. Osborne Reynolds (1842-1912), científico y matemático británico, fue el primero en distinguir la diferencia entre estas dos clasificaciones de flujo usando un aparato sencillo, como se muestra en la figura siguiente:

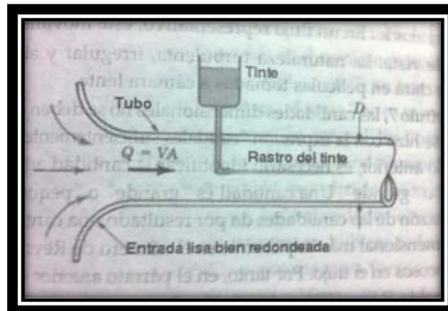


Fig. No.1.3 instrumento para identificar tipo de flujo

Fuente: (Munson & Young, 1999)

Si en una tubería de diámetro  $D$ , circula agua a una velocidad media  $V$ , al inyectar un colorante neutramente boyante se observa las siguientes características. Para “caudales suficientemente pequeños”, la estela de

colorante permanece como una línea bien definida a medida que fluye, viéndose solo ligeramente borrosa debido a la difusión molecular del colorante en el agua circulante. Para un “caudal intermedio” algo mayor, la estela del colorante fluctúa en el tiempo y el espacio, y a lo largo de la estela se observan destellos intermitentes de comportamiento irregular. De otra parte para “caudales suficientemente grandes”, la estela del colorante se vuelve borrosa casi de inmediato y se dispersa por toda la tubería de manera aleatoria. Estas tres características denominadas flujo laminar, de transición y turbulento, respectivamente se ilustran en la figura siguiente.

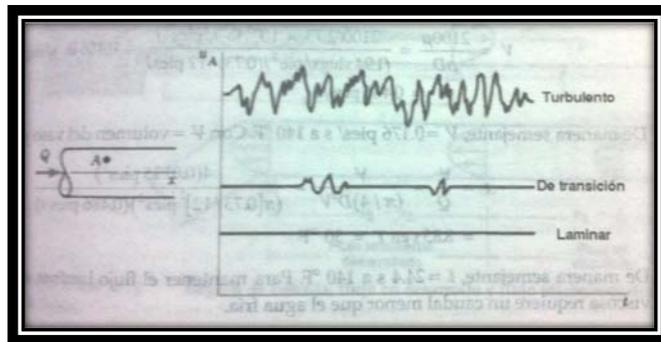


Fig. No.1. 4 Diferentes tipos de Flujos

Fuente: (Munson & Young, 1999)

## 1.2 Mecánica de Fluidos

La mecánica de fluidos es una derivación de la mecánica, que estudia el comportamiento de los fluidos, sea este en movimiento, las fuerzas que provocan el movimiento y las fuerzas cortantes que son las que limitan o incapacitan el fluido en su trayectoria. (Cengel & Cimbala, 2006)

Tabla No.1.1Valores de propiedades de los fluidos

Valores Propiedades de Fluidos				
Propiedad	Designación	Unidades	Valores	
			Agua	Aire
Masa Específica	P	kg/m <sup>3</sup>	1.000	1,2
Viscosidad	B	g/ms	1	0,02
Calor específico	Cp	J/kg°k	4.200	1,008
Presión de Vapor (20°)	Pv	Bar	0,023	-
Tensión Superficial	Ö	mN/m	73	-

Fuente: (Mataix, 1986)

Realizado por: Danny Gallardo, Frank Gaviláñez

### 1.3 Principio de Bernoulli

(Munson & Young, 1999) menciona que este principio también es conocido como la ecuación de Bernoulli o el trinomio de Bernoulli el mismo que nos indica que un fluido ideal es decir sin rozamiento ni viscosidad en régimen de circulación por un conducto cerrado, poseerá el fluido energía constante a lo largo de su recorrido.

Describiendo así el comportamiento del fluido en movimiento a lo largo de una línea de corriente y encontrando la relación fundamental entre a presión, la altura y la viscosidad de un fluido ideal. Mediante este teorema de puede demostrar que estas variables no se modifican independientemente una de la otra, sino que están determinadas por la energía mecánica del sistema.

Cuando un fluido incompresible circula por un tubo de sección variable, su velocidad tiende a cambiar. Esto exige que esté sometido a una fuerza resultante, lo que significara que ha de variar la presión en la trayectoria del flujo a lo largo del tubo aunque la altura no se modifique. Para dos puntos a alturas distintas, la diferencia de presión depende no solo de la diferencia de altura, sino también de la que existe entre las velocidades de los puntos.

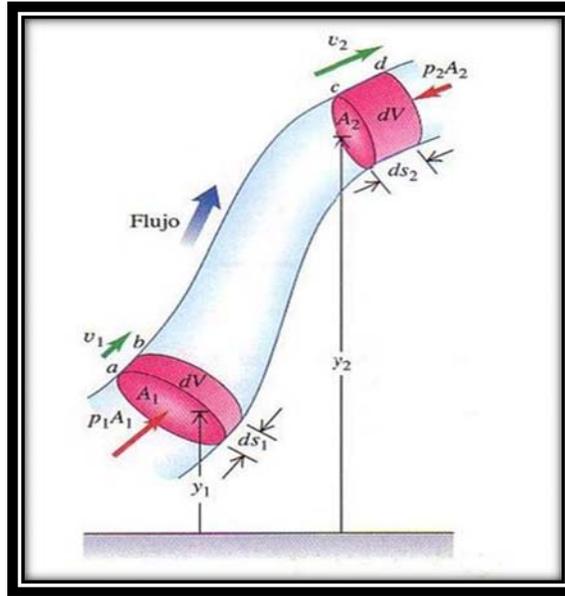


Fig. No.1.5 Principio de Bernoulli

Fuente: (Munson & Young, 1999)

En cualquier momento la energía de un fluido consta de tres componentes:

1. Energía Cinética: debida a la velocidad que posea el fluido. (V)
2. Energía Potencial Gravitacional: debido a la altitud que un fluido posea. (g)
3. Energía de flujo: debido a la presión que posee.

$$\frac{V^2 P}{2} + P + pgz = constante$$

“La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables.” (Cengel & Cimbala, 2006)

A pesar de su simplicidad la ecuación de Bernoulli demostró ser de gran ayuda en la mecánica de fluidos.

La ecuación de Bernoulli es una ecuación aproximada que solo es válida en regiones no viscosas del flujo, donde las fuerzas viscosas netas son despreciablemente pequeñas en comparación con las fuerzas de inercia, gravitacionales y de presión. Ese tipo de regiones se presentan por fuera de las capas límite y de las estelas. (Cengel & Cimbala, 2006)

#### **1.4 Caracterización de la admisión**

Según Mena en el caso de la admisión, el aire y la mezcla de combustible, entran en el cilindro cuando el embolo se mueve transfiriendo así por completo todo el espacio en el cilindro, su presión y temperatura corresponderán a las del medio ambiente.

$$G_o = V_a * P_o \text{ kg.}$$

Donde:

Va: es el volumen total del cilindro

Po: es la densidad del aire a la presión y temperatura del medio ambiente

Cuando el aire y la mezcla combustible se mueven por el sistema de admisión y se producen resistencia hidráulica, estas resistencias están

ocasionadas por la generación de remolinos del rozamiento del aire con las paredes.

La resistencia hidráulica hace que disminuya la presión de flujo de aire

En el periodo de admisión la presión en el cilindro es más baja que a la entrada en el sistema de admisión, por lo tanto, la masa de la carga admitida será menor, puesto que la densidad disminuye.

$$P_a = P_a \frac{P_a}{P_o}$$

Es así que la masa de la carga  $L$  a presión  $P_a$  y a la temperatura  $T_u$  es:

$$G = P_a * V_a = P_a * P_a \frac{P_a}{P_o}$$

Y la disminución de la masa de la carga debida a las resistencias hidráulicas será:

$$\Delta G = G_a - G = P_a * V_a - P_a * V_a \frac{P_a}{P_o} = P_a * V_a (1 - \frac{P_a}{P_o})$$

Cuando el motor funciona a plena carga la temperatura media de la superficie transmisora de calor es igual a 200 grados centígrados.

Como resultado de esta transferencia de calor, la temperatura de aire se calienta y se disminuye la densidad del aire

La densidad de la carga al terminar la admisión y tomando en consideración la resistencia hidráulico

$$P = \frac{P_a}{RT_a}$$

Entonces la cantidad de aire admitido es:

$$P = P_o \frac{P_a}{RT_a} * \frac{T_a}{T_o}$$

Y la disminución de masa de dicho carga debido a las indicadas causas

$$\Delta G = V_a P_a \left( 1 - \frac{P_a}{P_o} * \frac{T_a}{T_o} \right)$$

## 1.5 Fluido Newtoniano

Es un fluido cuya viscosidad puede permanecer constante en el tiempo, los fluidos comunes se comportan como fluidos newtonianos bajo condiciones normales de presión y temperatura. Por ejemplo el aire, el agua, la gasolina, etc.



Fig. No.1.6 Fluido Newtonianos

Fuente: (Mataix, 1986)

## 1.6 Flujo Laminar

Llamamos flujo laminar o corriente de flujo laminar cuando tenemos un fluido que se mueve en capas paralelas, sin que se mezclen entre ellas y sigue una trayectoria suave, este tipo de flujo se encuentra muy cercano a las paredes del conducto por donde se desplaza donde produce fricción y disminuye la velocidad del flujo.

El flujo laminar se da en fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas, mientras tanto los fluidos con velocidades altas, viscosidades bajas o grandes caudales son turbulentos, el número de Reynolds es un parámetro muy importante en las ecuaciones para definir si un flujo será laminar o turbulento.

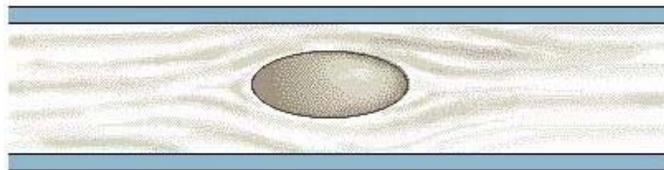


Fig. No.1.7 Flujo Laminar

Fuente: (Cordón, 2006)

La forma laminar de fluidos en una tubería tiene forma de parábola donde la velocidad máxima se encuentra en el eje del tubo y en las paredes es igual a cero, la pérdida de energía es proporcional a la velocidad media pero mucho menor a la del flujo turbulento.

## 1.7 Flujo Turbulento

En la mecánica de fluidos, llamamos fluido turbulento al movimiento de un fluido que sigue trayectorias erráticas y va desordenadamente formando torbellinos. Cuando aumenta la velocidad de este flujo y por ende el número de Reynolds, la tendencia al desorden aumenta, ninguna capa de fluido avanza con mayor velocidad que otra y solo existe una fuerte gradiente de velocidad en las capas próximas a las paredes del conducto o de la tubería ya que las partículas que están en contacto con las paredes tienen velocidad nula.

(Cordón, 2006) Define que:

En el movimiento de un fluido a través de una conducción se comprueba, dependiendo de la viscosidad del fluido y del diámetro del tubo, que en cada caso existe una velocidad crítica por debajo de la cual el régimen laminar es estable.

Para velocidades superiores a la velocidad crítica este régimen es inestable y pasa a turbulento ante cualquier vibración.

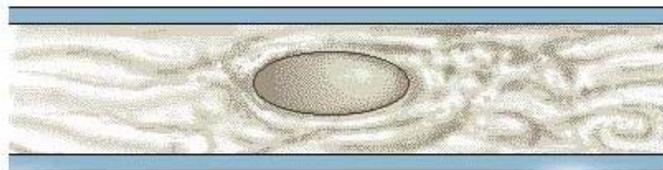


Fig. No.1.8 Flujo turbulento

Fuente: (Cordón, 2006)

Dentro del régimen turbulento podemos encontrar 3 zonas diferentes:

### **1.7.1 Régimen Turbulento Liso**

Las pérdidas que se producen no dependen de la rugosidad interior del tubo. Se presenta para valores del número de Reynolds bajos por encima de 4000. (Mataix, 1986)

### **1.7.2 Régimen Turbulento de Transición**

Las pérdidas dependen de la rugosidad del material del tubo y de las fuerzas de viscosidad. Se da para números de Reynolds altos y depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. (Mataix, 1986)

### **1.7.3 Régimen Turbulento Rugoso**

Las pérdidas de carga son independientes del número de Reynolds y dependen solo de la rugosidad del material. Se da para valores muy elevados del número de Reynolds. (Mataix, 1986)

Los factores que influyen en un flujo para que se torne turbulento tenemos:

- La alta rugosidad superficial de la superficie de contacto con el flujo, sobre todo cerca de borde de ataque y a altas velocidades, irrumpe en la zona laminar de flujo y lo vuelve turbulento.

- Alta turbulencia en el flujo de entrada, en particular para pruebas en túneles de viento, hace que los resultados nunca sean iguales entre dos túneles diferentes.
- Gradientes de presión adversos como los que se generan en cuerpos gruesos, penetran por atrás el flujo y a medida que se desplazan hacia adelante lo “arrancan”.
- Calentamiento de la superficie por el fluido, asociado y derivado del concepto de entropía, si la superficie de contacto está muy caliente transmitirá esa energía al fluido y si esta transferencia es lo suficientemente grande se pasara a flujo turbulento.
- En situaciones que involucren combinaciones de baja viscosidad, alta velocidad o grandes caudales, el flujo laminar no es estable lo que hace que se transforme en flujo turbulento.

## **1.8 Número de Reynolds**

Si la velocidad de un fluido que pasa por un tubo excede un valor crítico, dependiendo de las propiedades del fluido, como la viscosidad, densidad, temperatura y el diámetro del tubo donde circula dicho fluido, se vuelve sumamente inestable. Cerca de las paredes de dicho tubo tendremos una capa límite que será laminar. La capa límite posee propiedades importantes para determinar la resistencia a fluir y la transferencia de calor. (Shames, 1995)

El número de Reynolds involucra o relación la viscosidad, densidad, dimensión y velocidad típica de un flujo en una expresión adimensional que

interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos, dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

Como menciona (Munson & Young, 1999); experimentalmente está comprobado que cuando el número de Reynolds es menor a 2000, el flujo es laminar, mientras que por arriba de 3000 y entre 2000 y 3000 el flujo es inestable pudiendo pasar de un tipo a otro en cualquier momento.

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo, así mismo conforme incrementa el flujo másico incrementan las fuerzas del momento o inercia, las mismas que son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye, en cuanto dichas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo. En base a los experimentos realizados por Reynolds en 1874 se concluyó que las fuerzas del momento son función de la densidad, del diámetro de la tubería y de la velocidad media. Además la fricción o fuerza viscosa depende de la viscosidad del líquido, según dicho análisis el número de Reynolds se definió como la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas o de rozamiento.

$$N_{Re} = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho DV}{\mu}$$

Fuente: (Mataix, 1986)

Este número es adimensional y puede utilizarse para definir las características del flujo dentro de una tubería.

### 1.8.1 Número de Reynolds en flujo laminar

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Fuente: (Mataix, 1986)

O equivalentemente por:

$$Re = \frac{V_s D}{\nu}$$

Donde:

$\rho$ : densidad del fluido

$v_s$ : velocidad característica del fluido

$D$ : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema.

$\mu$ : viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

A valores bajos de flujo másico, cuando el flujo del líquido dentro de la tubería es laminar, se utiliza la ecuación 3.3 para calcular el perfil de velocidad.

Estos cálculos revelan que el perfil de velocidad es parabólico y que la velocidad media del fluido es aproximadamente 0,5 veces la velocidad máxima existente en el centro de la conducción.



Fig. No.1. 9 Perfil Flujo Laminar

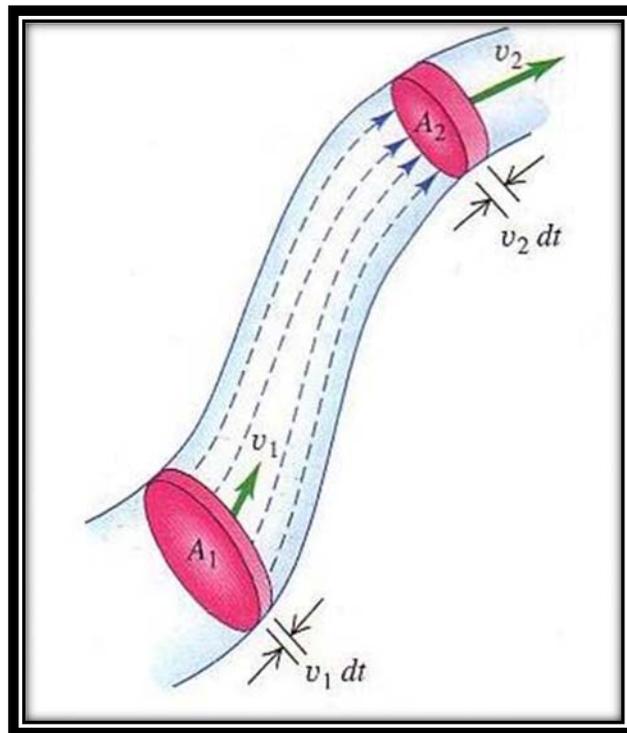
Fuente: (Mataix, 1986)

### 1.8.2 Número de Reynolds en flujo turbulento

Cuando el flujo másico en una tubería aumenta hasta valores del número de Reynolds superiores a 2100 el flujo dentro de la tubería se vuelve errático y se produce la mezcla transversal del líquido. La intensidad de dicha mezcla aumenta conforme aumenta el número de Reynolds desde 4000 hasta 10 000. A valores superiores del Número de Reynolds la turbulencia está totalmente desarrollada, de tal manera que el perfil de velocidad es prácticamente plano, siendo la velocidad media del flujo aproximadamente 0,8 veces la velocidad máxima. (Cengel & Cimbala, 2006)

## 1.9 Ecuación de Continuidad

Es la expresión matemática nos indica que el flujo de masa hacia el interior de una superficie cerrada será igual al ritmo que aumenta la masa dentro de la superficie. Lo que queremos decir es que la masa de aire que entra en una tubería es la misma a la salida teniendo así la conservación de la masa.



**Fig. No.1.10 Principio de Continuidad**

Fuente: (Mataix, 1986)

En la figura 1.11 se puede ver que en dos secciones del tubo se han tomado las áreas  $A_1$  y  $A_2$  y  $v_1$  y  $v_2$  las velocidades en dicha sección. No existe flujo en las paredes del tubo, el volumen del fluido que ingresa a través de  $A_1$  en un intervalo de tiempo  $dt$ , y velocidad  $v_1$  pertenece a la masa de aire

que circula en la superficie A1, o sea  $A_1v_1dt$ . Si la densidad del fluido es  $\rho$  la masa que ingresa es  $\rho A_1v_1dt$ . Análogamente, la masa que sale a través de A2 en igual tiempo es  $\rho A_2v_2dt$ . El volumen comprendido entre A1 y A2 es constante y, dado que el flujo es estacionario, la masa que entra es igual a la que sale. (Mataix, 1986)

Por lo tanto:

$\rho A_1v_1dt = \rho A_2v_2dt$ , lo que nos da como resultado

$$A_1v_1 = A_2v_2.$$

Fuente: (Mataix, 1986)

El producto  $Av$  es constante en cualquier tubo de flujo dado. De esto deducimos que cuando disminuye la sección de un tubo de flujo, la velocidad aumenta.

### **1.10 Flujometro**

(Funes, 2011), explica que el flujometro es un instrumento de gran ayuda para un preparador de motores, con este instrumento o herramienta podemos hacer pruebas en la culata, carburador múltiples de admisión y escape, etc. Hay que hacer una acotación importante, que este como todo instrumento de medición solo no hace nada, es necesario tener clara la idea de lo que se está buscando conseguir pues caso contrario corremos el

riesgo de que las mejoras obtenidas en una medición de flujo no sean las que esperábamos obtener. (p. 70)

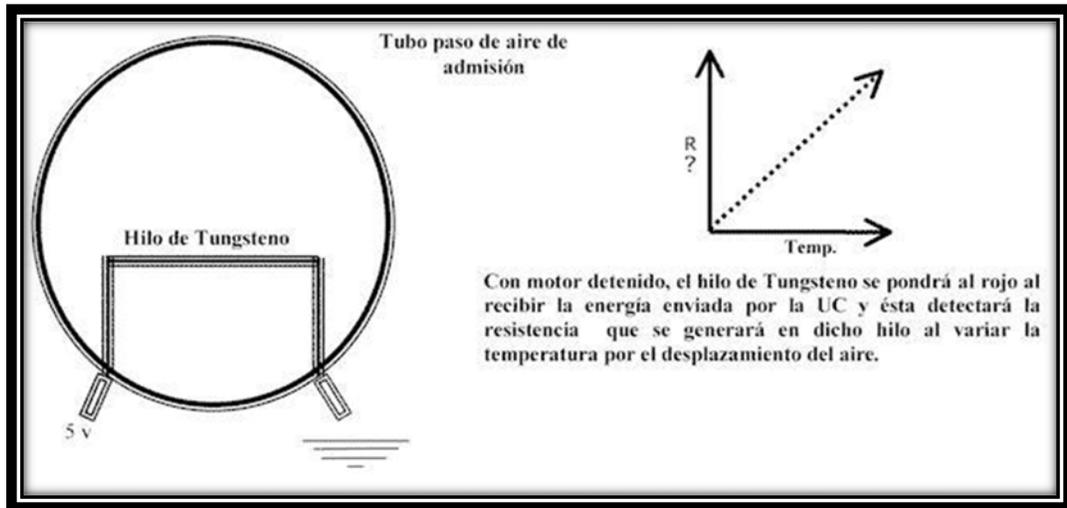


Fig. No.1.11 Flujo metro

Fuente: (Mataix, 1986)

Nos sirve para medir la resistencia a la circulación del aire que se genera en todo el sistema de alimentación del motor. Para probar múltiples de admisión de la culata, el aire es aspirado a través de esta hacia el interior del flujometro, y por medio de una válvula se regula la presión de prueba y el aire es expulsado al exterior a través de unos orificios que miden el caudal de flujo (CFM) y para los conductos de escape se sigue el mismo procedimiento pero en forma inversa.

La presión de prueba se mide con un manómetro de columna de líquido que tiene un orificio conectado al exterior para tomar la presión atmosférica, el otro orificio va conectado a la entrada de la celda de aspiración. El flujo se puede realizar a diferentes presiones de prueba

por ejemplo a 5", 8", 10", etc. (Pulgada de columna de líquido), haciendo una prueba de flujo en la culata a 10" se puede calcular la potencia del motor y el régimen correspondiente, esta presión se regula con una válvula que está ubicada al frente del panel de control. El porcentaje de flujo, se lee en un manómetro inclinado que como en las pruebas mencionadas anteriormente tiene un orificio conectado al exterior y otro conectado a la celda de expulsión. Este manómetro tiene una escala que va de 0 a 100. También cuenta con un manómetro vertical que nos sirve para hacer mediciones de presión en conductor, carburadores, múltiples, etc. (Funes, 2011, pág. 71)

Las pruebas de flujo no es nada más que medir el caudal de aire que pasa por un conducto determinado a una presión de prueba constante. Luego de hecha esta medición, se hacen las modificación en el conducto es decir abrimos los conductos según lo calculado y se vuelve a realizar la medición a la misma medida con la diferencia que el porcentaje de flujo debería variar, es decir con esta variación nos indica que el trabajo fue satisfactorio.

### **1.11 Tipos de Flujometro**

La inyección electrónica continuamente con su evolución ha llevado a la mejora de sensores y actuadores del vehículo, y en lo que a la entrada o admisión de aire se refiere se han creado diferentes sensores como el maf, que es un medidor de flujo de aire aspirado.

La medición de aire que ingresa a los cilindros por medio del colector de admisión es uno de los datos principales que la computadora del vehículo debe tener para la correcta dosificación del combustible por parte de los inyectores para llegar a obtener un buen rendimiento del motor, la relación estequiométrica ideal de aire-combustible, es decir 14,7 partes de aire a 1 de combustible. Algunos de los tipos de medidores de aire son los siguientes:

#### **1.11.1 Medidor de Flujo de Aire de Hilo Caliente**

Este es una mejora del medidor de caudal de aire de otras generaciones, está dotado de una caja tubular donde se encuentra un tubo de medición de diámetro más pequeño, una sonda térmica y un hilo de tungsteno o comúnmente llamado hilo caliente, estos dos componentes forman parte de un circuito de puente que mantiene el hilo a una temperatura fija y superior a la temperatura del aire medido, la corriente necesaria es directamente proporcional a la masa de aire que ingrese esto independientemente de su presión, temperatura o humedad.

La corriente se mide ya que es necesaria para mantener el hilo a una temperatura superior y la señal obtenida se envía a la computadora del vehículo, unida esta señal con la señal de régimen del motor se calcula el volumen de inyección de combustible, la computadora del automóvil puede modificar este volumen de acuerdo a otras señales que recibe de otros sensores y actuadores

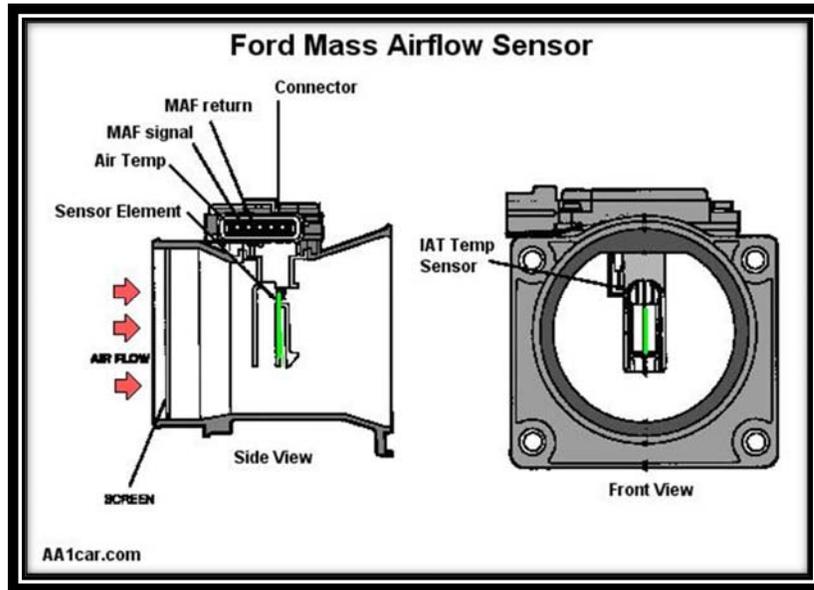


Fig. No.1. 12 Flujometro de hilo caliente

Fuente: (Celis, 2013)

### 1.11.2 Medidor de Flujo de Aire de Lámina Caliente

Este se basa su funcionamiento en el medidor de aire de hilo caliente con la única diferencia que en lugar de hilo se reemplazó por una lámina, la misma que es más exacta y precisa en la medición, ya que por su dimensión capta una mayor cantidad de aire, esto sin obstruir el paso de aire hacia los cilindros.

Este como el medidor de aire de hilo caliente cuenta con una función de auto limpieza, esto es cuando el motor está detenido o en su fase de calentamiento, este alimenta eléctricamente al hilo o lámina para que se calienten y así poder eliminar los residuos de carbón, polvo, etc.

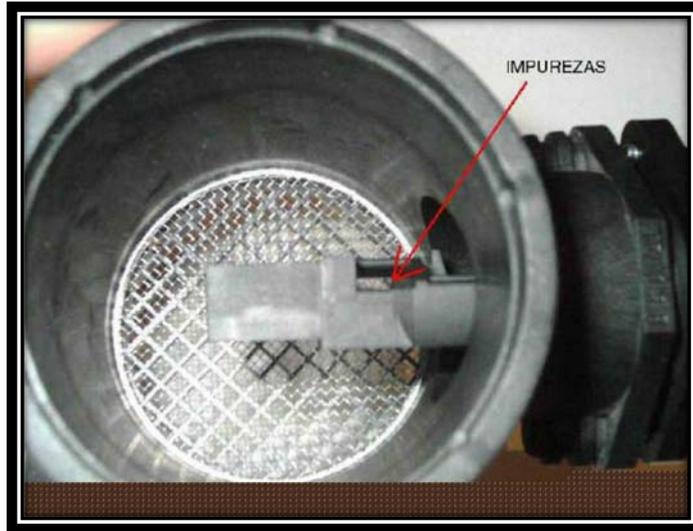


Fig. No.1.13 Flujometro de lámina caliente

Fuente: (Celis, 2013)

### 1.11.3 Medidor de Flujo de Aire del Sistema “KARMAN VORTEX”

EL Karman Vortex utiliza una forma diferente a los medidores anteriormente mencionados, lo que hace es censar el número de partículas de aire que circulan dentro del dispositivo que corta las ondas ultrasónicas provenientes de un generador. En el lado opuesto del emisor existe un sensor que continuamente estará censando la interrupción, cuando mayor cantidad de flujo de aire existe mayor es la cantidad de moléculas, es decir si hay un mayor número de moléculas cortara un mayor número de ondas emitidas y las ondas censadas por el receptor serán menores, lo que indicara un mayor flujo de aire aspirado por el motor, así mismo nos daría un resultado contrario con un menor número de moléculas de aire.

La computadora del vehículo recibe las señales de corte de las ondas de ultrasonido como variaciones de frecuencia de corriente; además

el dispositivo tiene un sensor de temperatura de aire llamado NTC (Resistencia Variable Negativa), complementando este sistema y permitiendo medir la densidad del aire que ingresa a los cilindros. Y para evitar que el aire pierda dirección o que choque bruscamente con el tubo, su estructura se encuentra diseñada en forma de rejillas, con el objetivo de impedir que se cree turbulencias con los que puede perder eficiencia este sistema.

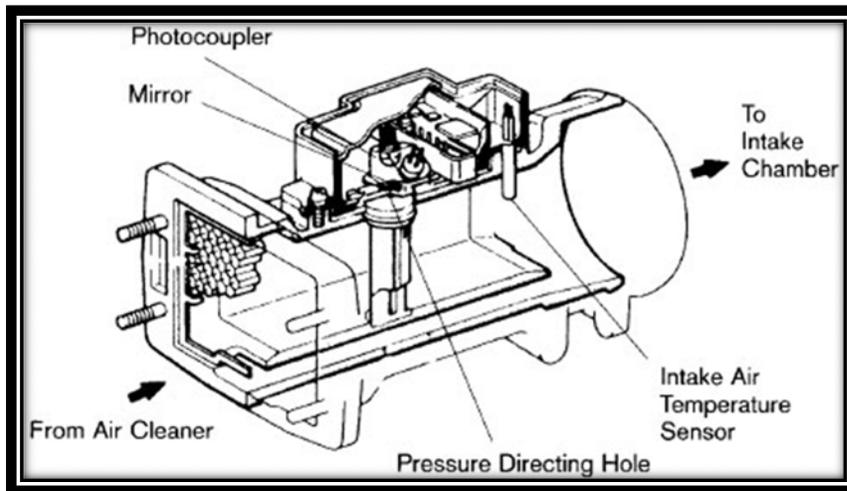


Fig. No.1.14 Medidor de Flujo de aire Karman Vortex

Fuente: (Crouse, 1998)

#### 1.11.4 Medidor de Depresión de Aire Aspirado

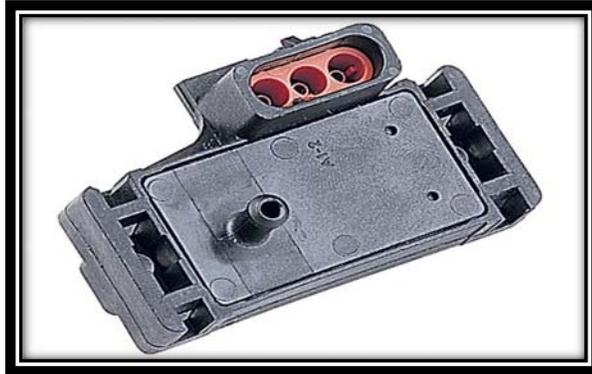


Fig. No.1.15 Medidor de Presión de Aire Aspirado

Fuente: (Celis, 2013)

En lo que se refiere a medidores de depresión de aire aspirado tenemos 2 tipos de sensores, el primero de ellos es el que utilizaba componentes mecánicos para su funcionamiento y el otro tipo es el que se utiliza actualmente, está construido por componentes electrónicos lo que le otorga al sensor una mayor fiabilidad y exactitud en la medición. Al inicio este sensor se lo uso para controlar en adelanto o retraso al encendido, mediante la medición del vacío pero en la actualidad también es usado para enviar información a la computadora sobre el volumen de inyección requerido gracia a la medición de aire que ingresa al motor, así se podrá tener un funcionamiento eficiente para cada carga o estado en el que el motor se encuentre, este medidor también puede medir factores de altitud teniendo así un volumen correcto de inyección dependiendo la geografía en la que nos encontremos.

El material del que está construido el sensor map es un material piezoeléctrico, el cual compara a la presión atmosférica con la depresión en el colector de admisión, dicha información es la que se envía a la computadora del vehículo y esta la recibe en forma de variación de voltaje. Esta medición se hace directamente de un tubo insertado en el colector de admisión, otros poseen un sensor de temperatura que arrojará aún más datos o parámetros a la computadora.

## **1.12 Instrumentos Para la Medición de Velocidades de Flujo**

Para medir las velocidades, los instrumentos se han desarrollado en base a la ecuación del teorema de Bernoulli. Uno de ellos es el tubo de Prandtl que puede medir la velocidad de un flujo en un punto, en módulos o todos a la vez.

### **1.12.1 Tubo Pitot**

El tubo de Pitot se utiliza para medir la presión total, también llamada presión estacionaria, que es el resultado de la suma de la presión estática y de la presión dinámica.

A continuación mostramos la ecuación de la presión estacionaria.

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_t}{\rho g} = \frac{P_o}{\rho g} + \frac{V_o^2}{2g}$$

Donde:

Pt: Presión total o presión estacionaria.

Po, vo: Presión y velocidad de corriente, teóricamente no perturbada en el infinito.

Para la ecuación 2.1 asumimos que los puntos 0 y 1 están sobre un mismo plano horizontal y despreciando cualquier tipo de pérdidas en el trayecto del flujo.

En la figura mostrada a continuación (tubo de Pitot)

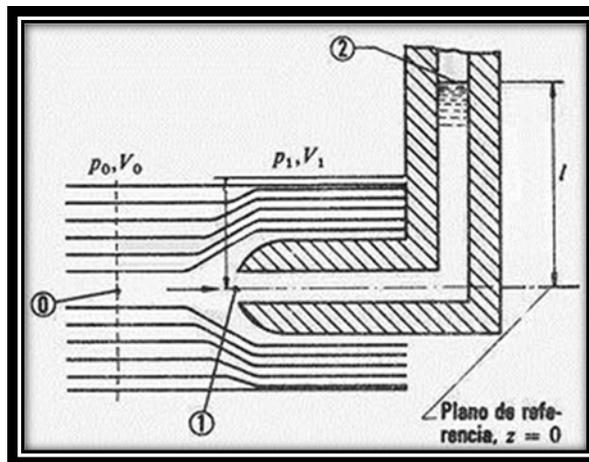


Fig. No.1.16 Tubo de Pitot

Fuente: (Mataix, 1986)

### 1.12.2 Tubo de Prandtl

El tubo de Prandtl es la conjunción de un tubo piezómetro, y un tubo Pitot donde primero mide la presión estática y el segundo la presión total, y la diferencia de estas dos es la presión dinámica medida por el tubo de Prandtl

mediante un manómetro diferencial, lo que permite determinar el caudal y la velocidad de la corriente del fluido. (Mataix, 1986)

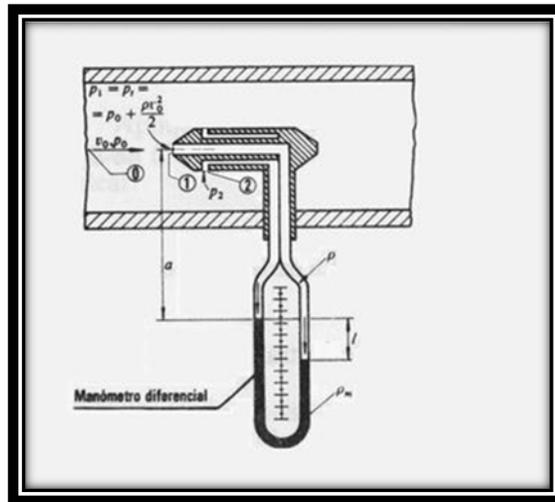


Fig. No.1.17 Tubo de Prandtl

Fuente: (Mataix, 1986)

### 1.13 Ventiladores

Básicamente un ventilador es una bomba de gas en lugar de tener un líquido. Entonces un ventilador es una turbo máquina de fluido generadora de gases. La única diferencia es que los fluidos son poco compresibles mientras que los gases son muy compresibles, lo cual puede afectar fundamentalmente al diseño de la máquina sin embargo, siempre que el gas no varíe sensiblemente de densidad, y por tanto de volumen específico.

Un ventilador es una turbo máquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas comunicándole un incremento de presiones menor que 1000 mm c.a. (Mataix, 1986)

## 1.14 Clasificación de los ventiladores

### 1.14.1 Clasificación según la presión total desarrollada

Ventiladores de:

- Baja presión: presión total desarrollada inferior a 100 mm c.a.
- Media presión: presión total desarrollada superior a 100 e inferior a 300 mm c.a.
- Alta presión: presión total desarrollada superior a 300 e inferior a 1000 mm c.a.

### 1.14.2 Clasificación según la dirección de flujo

- Ventiladores centrífugos: en este tipo de ventiladores la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y esta perpendicular al mismo a la salida. Pueden ser de álabes curvados hacia adelante, álabes rectos, álabes inclinados o curvados hacia atrás.

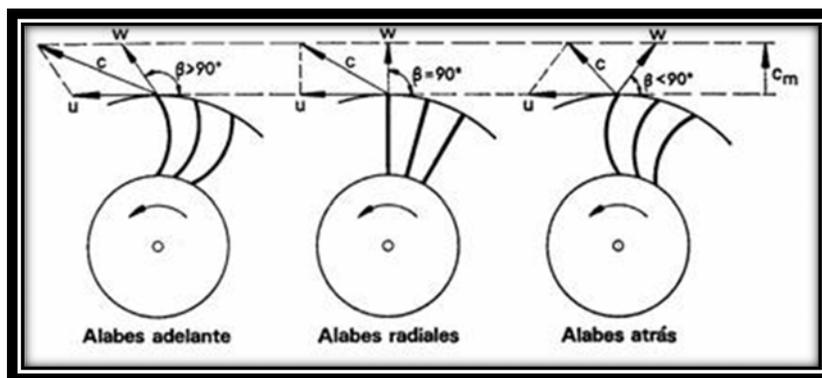


Fig. No.1.18 Alabes de turbina

Fuente: (Mataix, 1986)

- Ventiladores Axiales: estos ventiladores están diseñados básicamente con un rotor de dos a trece paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta con salida de flujo helicoidal.

### 1.15 Teoría de los ventiladores

(Mataix, 1986) Nos indica que en todos los problemas de ingeniería relacionados con ventiladores de aire puede suponerse este un gas perfecto. Como además puede suponerse incomprensible, su densidad dentro de la máquina no variara por efecto de la compresión; pero si variara la densidad de un lugar a otro con la presión barométrica y la temperatura, según la ecuación de los gases perfectos.

$$Pv = nRT$$

Donde:

$P$  = presión

$v$  = volumen

$n$  = numero de Moles

$R$  = constante de gas

$T$  = temperatura

## **1.16 Componentes del motor aplicados a Flujo-metría**

El motor de cuatro tiempos estos diseñados por aspiración atmosférica, es así que el 80 por ciento del funcionamiento del mismo es en base al aire aspirado.

Por tal razón está directamente relacionado, con velocidad, presión y capacidad de llenado para aumentar la eficiencia del funcionamiento del motor

### **1.16.1 Culata**

La culata está diseñada y construida para hacer un cambio de gases en una cámara para ser comprimidas y generar potencia mediante una combustión.

La evolución de los diseños de las culatas se enfoca netamente en la eficiencia y mejor llenado de la cámara de combustión, es por tal razón que se encuentra ligado directamente con el estudio de flujos.

La evolución de materiales de construcción, disposición valvular, modificaciones en el diseño, ha mejorado notablemente el intercambio de flujo de aire en el mismo

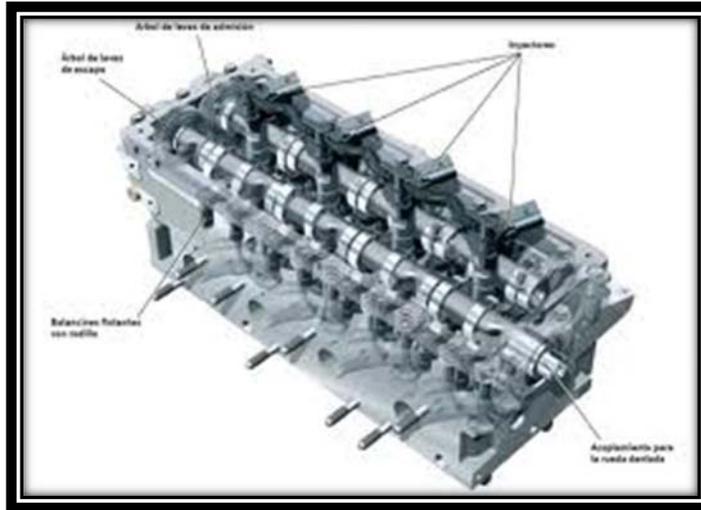


Fig. No.1.19 Culata de Motor

Fuente: (Celis, 2013)

### **1.16.2 Materiales de Construcción de la Culata**

La culata ha sido diseñada en función a las altas temperaturas y presiones que tiene que soportar, algo importante es que también debe tener una alta resistencia mecánica y gran rigidez para poder soportar las presiones generadas en su interior. Las aleaciones de aluminio y el hierro fundido son los materiales más usados para la culata

Tabla No.1.2 características de aleaciones

<b>Características de Aleaciones de Aluminio</b>		
MATERIAL	TIPO	CARÁCTERÍSTICAS
Aleaciones de aluminio	G-alsmom/ 180,240 sut M/m	No maleables, resistentes  a la presión, poca dilatación
Hierro fundido con  grafito laminar	  250-300 N/mm de sut	No maleables, resistentes a la  presión, poca dilatación.

Fuente: Manual de Trucaje de Motores de la ESPE.

Realizado por: Danny Gallardo, Frank Gavilánez.

### 1.16.3 Tipos de culata

Según los tipos de culata podemos distinguir dos tipos que son:

- A. Por el volumen de compresión
- B. Y por la técnica de intercambio de gas

Por la cámara de combustión tenemos tres formas básicas que son las siguientes:

En lo que es cámaras de combustión es importante acotar que en esta parte del motor es donde se produce el proceso fundamental, aquí se produce la compresión de la mezcla aire-combustible para generar la suficiente energía térmica que moverá o impulsara el pistón convirtiéndose de energía térmica en energía mecánica mediante los componentes del motor, y así tenemos las que son según el tipo de cabeza del pistón y así tenemos las siguientes:

#### **A. Volumen de cámara con pistón plano.**

Cuando el pistón es completamente plano no influye volumétricamente en la cámara de combustión, pero si debemos tener muy en cuenta que el afloramiento de cada pistón en todas las bocas de los cilindros sea el mismo, entendiendo por afloramiento la distancia que hay entre la parte plana del bloque y la cabeza del pistón en su PMS (Punto Muerto Superior). Esto se puede medir o determinar usando un calibrador de profundidad. (Passaniti, 2008)

#### **B. Volumen de cámara con pistón cóncavo**

Este tipo de pistón es aquel que tiene la cabeza del pistón por debajo de la línea plana del bloque de cilindros, es decir que este es el caso en el que el pistón posee los rebajes para que las válvulas de admisión y escape no choquen con el mismo, o también puede ser por diseño general del fabricante. (Passaniti, 2008)

También se debe verificar además del afloramiento de los pistones el rebaje para las válvulas y si poseen cavidad que esta sea la misma en todos los pistones ya que de no ser así esto variaría el volumen de la cámara de combustión, así que será necesario medir el volumen que desplaza la cabeza del pistón.

### **C. Volumen de cámara con pistón convexo**

Este tipo de cabeza de pistón es aquel con un diseño que sobrepasa la parte plana del bloque de cilindros, y capaz de introducirse en la cámara de combustión pero tiene unos rebajes para evitar el choque de las válvulas con la cabeza del pistón, aquí el volumen de la cámara de combustión se verá influenciado mucho por la masa del pistón que se introduce en la cámara de combustión. (Passaniti, 2008)

Según la forma de intercambio de gas, se distinguen dos formas básicas.

### **D. Culata de flujo en contracorriente**

El conducto de admisión y escape desembocan en el mismo lado de la culata lo que reduce el espacio disponible para tender los conductos de aire fresco y gases de escape, pero gracias a las pequeñas distancias brinda notables ventajas para la sobrealimentación, también si se coloca un motor en forma transversal también se aprecia una cierta ventaja en cuanto a conductos. (Bosch, 2005)

### **E. Culata de flujo transversal**

Los conductos de admisión y de escape están ubicados en lados opuestos lo mismo que forma una corriente diagonal de aire fresco y gas de escape, esta disposición permite guiar los tubos con mayor libertad y facilita la hermetización. (Bosch, 2005)



Fig. No.1.20 Tipos de culatas

Fuente: (Celis, 2013)

### **1.16.4 Válvulas**

Las válvulas en el cabezote tienen la principal función de abrir y cerrar el paso del flujo de aire a la cámara de combustión.

En tema construcción, está dirigida por una guía, la misma que se encuentra incorporada al cuerpo del cabezote, de forma circular y si ápices para evitar disminución del flujo de aire.

La válvula en si es delgada de igual manera para disminuir la resistencia al paso de aire.

Con lo que respecta al asiento de la válvula, su diseño y construcción es netamente aerodinámico en forma de cono, para generar una expansión del flujo de aire al ingresar a la cámara de combustión, otro factor importante tomado en cuenta para la construcción de la válvula es la resistencia del material, ya que la válvula en su asiento tiene que resistir un promedio de 1000 grados centígrados. (Crouse, 1998)



Fig. No.1.21 Válvulas del motor

Fuente: (Funes, 2011)

La función de las válvulas es permitir que ingrese aire fresco a la cámara de compresión y la evacuación de los gases quemados luego de la combustión, además de hermetizar completamente los conductos para el ciclo de compresión y combustión, para hacer todo esto posible deben

ser comandadas por un eje de levas o comúnmente llamado árbol de levas, que sincrónicamente le da a las válvulas la apertura y cierre para cumplir cada ciclo del motor, las partes de una válvula son un vástago, cabeza, asientos de la válvula y cara como se muestra en la figura. (Crouse, 1998)

#### **1.16.5 Disposición de las válvulas**

El tipo de distribución de las válvulas y la forma de la cámara de combustión están muy relacionados. En estos días prácticamente se usan sistemas de distribución de válvulas suspendidas en la culata, en los motores Diésel y en motores Otto de menor grado de utilización las válvulas están ubicadas en paralelo al eje de los cilindros y son accionadas principalmente por balancines, taqués de platillos o palancas oscilantes. En las versiones Otto de alta potencia, cada vez inclinan las válvulas más en sentidos opuestos, lo que nos ayuda o nos permite tener unos diámetros de válvula mayores con los diámetros de cilindro dados y un guiado más favorable de los conductos de admisión así como en los de escape. (Crouse, 1998)

En los motores de rendimiento mayor o deportivos cada vez se tiende a usar 4 válvulas por cilindro con regulación por taqués de platillos.

El diagrama de distribución de un motor nos indica los tiempos de apertura y cierre de las válvulas, el desarrollo de la carrera de las válvulas, la carrera máxima de las mismas.

### 1.16.6 Guías de Válvulas

Estas van alojadas a precisión en la culata, permitiendo el movimiento longitudinal de las válvulas con el fin de evitar movimientos laterales y así poder conseguir un acoplamiento correcto del asiento de la válvula, y así mismo también disipa el calor de la válvula hacia el cabezote, los materiales de los cuales están construidas las válvulas son resistentes al roce, con una gran conductividad térmica y así mismo auto-lubricantes como fundición gris con estructura perlítica y aleaciones especiales

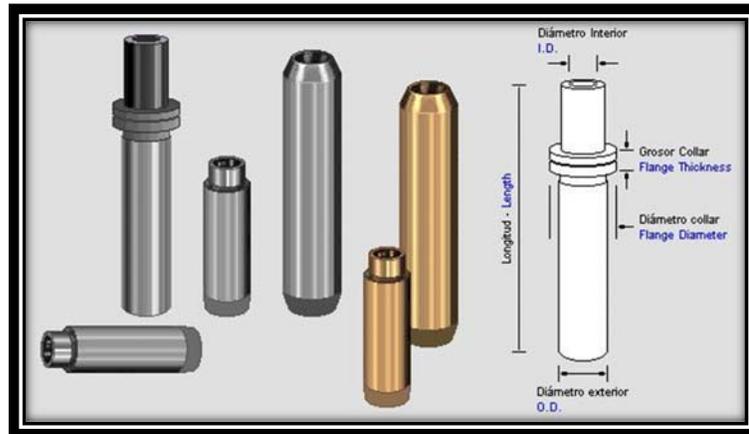


Fig. No.1. 22 Guías de válvulas

Fuente: (Celis, 2013)

### 1.16.7 Eje de Levas

El eje de levas es el que se encarga de controlar sincronizada mente de la apertura y cierre de válvulas, accionado por el giro del cigüeñal; es necesario recalcar que el árbol de levas gira dos veces mientras que el cigüeñal ha girado una sola vez, esto para permitir la sincronización de la distribución. Esta sincronía se logra mediante una correa dentada,

conjuntamente con piñones o mediante una cadena de acero; para su instalación es preciso identificar los puntos de coincidencia de la distribución para evitar el mal funcionamiento del motor y posibles daños que se pueden dar por un incorrecto armado. El eje de levas está diseñado y construido de acero al carbón con aleaciones de cromo, cobre, silicio, níquel, para obtener una mayor resistencia mecánica y térmica, después de ser mecanizado en máquinas especiales pasa a un proceso de templeado por flameado, una vez alcanzado la temperatura de temple se enfría rápidamente mediante aire, finalmente se rectifican las partes que estarán sometidas a rozamiento. (Passaniti, 2008)

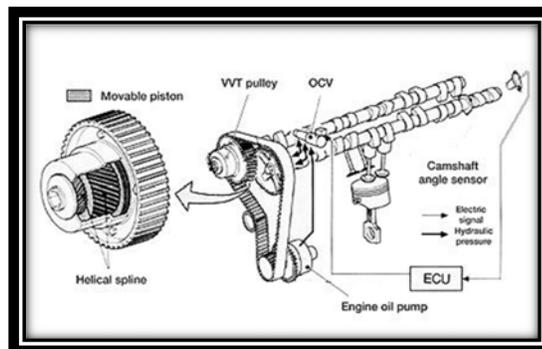


Fig. No.1.23 Árbol de Levas

Fuente: (Celis, 2013)

Las levas irán igual al número de válvulas que disponga el motor, están desplazadas para permitir el cierre y apertura en el momento idóneo para cada ciclo del motor. Las levas determinarán el tiempo de apertura de las válvulas y con esto conseguir un traslape comúnmente llamado cruce de válvulas, lo cual nos ayuda con el barrido de los gases de escape en la cámara de compresión. (Passaniti, 2008)

En lo que se refiere a sistemas de distribución variable en la actualidad tenemos diferentes, las cuales nos permiten acoplar el cruce de válvulas para cualquier régimen del motor, de tal manera que el desempeño que nos del motor se traduzca en un notable aumento de potencia y la reducción de consumo de combustible lo que a su vez es menos contaminación al medio ambiente por las emisiones más bajas de gases nocivos, los sistemas más conocidos y probados son v-tec de Honda, vanos de BMW y vvt-i de Toyota, los dos primeros aprovechan la presión de aceite del motor para el desplazamiento del eje de levas esto gracias a una válvula controlada electrónicamente que genera el traslape para cada carga del motor, mientras que el sistema vvt-i de Toyota es más compacto que los mencionados antes pero con iguales o mayores prestaciones lo que lo hacen a este un sistema muy confiable y fácil de instalar. (Passaniti, 2008)

#### **1.16.8 Factores que Influyen en la Potencia y en el Rendimiento Volumétrico**

En este capítulo vamos a ver todo lo referente a parámetros que debemos tomar en cuenta para mejorar el rendimiento de un motor como es el rendimiento volumétrico, la relación de compresión, la elevación de la relación de compresión con sus ventajas y desventajas, pero principalmente nos centraremos en lo que es el mejoramiento del rendimiento volumétrico, y lo que es la Flujiometría su descripción e importancia en este proyecto de tesis.

## 1.17 Rendimiento Volumétrico

Es también llamado coeficiente de llenado, es la relación entre la masa de aire aspirada efectivamente en cada ciclo y la que teóricamente podría llenar un volumen igual a la cilindrada en las condiciones de temperatura y presión exteriores.

Influye de manera importante en el desempeño de un motor ya que cuanto más grande sea la masa de aire introducida en los cilindros mayor será la cantidad de combustible que podrá quemarse y por lo tanto mayor será la potencia, el rendimiento volumétrico cuyo valor suele ser entre 0.70 y 0.85 varía con el régimen de rotación del motor ya que la resistencia que el fluido encuentra al pasar por los conductos aumenta con la velocidad del mismo.

La masa de aire que se introduce en los cilindros efectivamente es inferior a la teórica, sobre todo por las siguientes razones a continuación detalladas.

- Contrapresión en el escape, esto debido a los gases residuales, al hallarse a una presión superior a la del ambiente, se expanden durante la primera parte de la fase de admisión, obstaculizando la introducción de carga fresca.
- Disminución de la densidad de la carga a causa de la cesión de calor a la carga fresca por parte de las paredes de los conductos, el cilindro y la fracción de gases residuales.

- Resistencia que el aire encuentra a su paso por el carburador, los conductos y las válvulas de admisión.

Para mejorar el rendimiento volumétrico es un motor es necesario y preciso diseñar los conductos de admisión y escape con el fin de optimizar el coeficiente de flujo; aumentar las secciones de los conductos y los diámetros de las válvulas para reducir la velocidad de los gases, adelantar la apertura de las válvulas de admisión con el fin de que alcancen su altura máxima en el momento adecuado para obtener un llenado eficiente del cilindro, retardar el cierre de las válvulas de admisión y así aprovechar la inercia del fluido en el conducto de admisión con el objeto de aumentar la cantidad de aire introducido en el cilindro, así mismo adelantar la apertura y retardar el cierre de las válvulas de escape para reducir respectivamente la contrapresión en el escape y la cantidad de gases residuales.

En los sistemas de admisión de motores para vehículos de serie se diseñan de manera que el rendimiento volumétrico máximo alcance a velocidades medias de alrededor de 3000 a 4000 RPM, cuando el llenado de los cilindros es máximo entonces el torque es máximo, con esto no significa que su potencia sea máxima.

### **1.18 Relación de Compresión**

La relación de compresión desempeña un papel muy importante en el cálculo para la repotenciación del motor, entonces por definición la relación de compresión es la cantidad de veces que el volumen del cilindro, sumado

con el volumen de la junta de la culata y más el volumen de la cámara de combustión entra dentro de la misma cámara de combustión. (Passaniti, 2008)

Es muy importante el poder establecer durante el desarrollo y armado del motor, la relación de compresión de cada cilindro, esto es muy necesario realizarlo para que todos los cilindros tengan la misma compresión teórica inicial.

“La relación de compresión, es una relación entre dos volúmenes, el del cilindro y el de la cámara. Se define como la cantidad de veces que puedo comprimir el  $V_c$  en la cámara de combustión. Si digo  $R_c = 10:1$  significa que comprimí el  $V_c$ . 10 veces.” (Funes, 2011, pág. 19)

La relación de compresión de un motor está dada por la siguiente ecuación:

$$R_c = \frac{V_c + V_k}{V_k}$$

En donde  $V_c$  es el volumen del cilindro (volumen unitario) y  $V_k$  es el volumen de la cámara de combustión, por tanto la relación de compresión del motor está determinada por cuantas veces está contenido el volumen de la cámara en el volumen del cilindro.

En motores que funcionan con gasolina esta relación está dada entre 8.1 a 11:1, esto en los motores de autos de serie. En los vehículos con motos de competición donde usamos gasolina de mayor octanaje (más de

90 octanos) esta relación es de hasta 12:1, esto es con el fin de evitar auto detonación y pérdidas de potencia. Mientras tanto en los motores diésel la relación de compresión está dada de 15:1 hasta 22:1, que el encendido se da por altas presiones y otro tipo de combustible, contrario a la forma de encendido de los motores a gasolina.

En el siguiente ejemplo vamos a demostrar el cálculo para la relación de compresión y volumen de la cámara para un motor 4 cilindros de 1598 cc.

$$Seccion = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 79^2}{4}$$

$$Seccion = 4899.18 \text{ mm} = 48.99 \text{ cm}^2$$

$$Rc = \frac{seccion \times carrera + v}{v}$$

$$Rc = \frac{399 + 46.97}{46.97}$$

$$Rc = 9.5 : 1$$

$$Rc = 11,7 : 1 \text{ Relación de Compresión}$$

### 1.19 Coeficiente de descarga.

El coeficiente de descarga es un parámetro que se utiliza para caracterizar el flujo de aire que pasa por la válvula de admisión.

Se define como la relación existente entre el gasto real de flujo de aire y el gasto ideal sin pérdidas de presión (Simón Fygueroa, 2008)

$$Cd = \frac{G_{real}}{G_{ideal}}$$

El gasto real es obtenido mediante medición directa, no así el gasto teórico esta dado por la siguiente expresión:

$$G_{ideal} = Av \frac{Po}{To^{1/2}} \sqrt{\frac{2}{R} \frac{K}{K-1} \left[ \left( \frac{P}{Po} \right)^{\frac{2}{K}} - \left( \frac{P}{Po} \right)^{\frac{K+1}{K}} \right]}$$

Donde:

Av: área del flujo de la válvula

To: Temperatura de agua arriba de la válvula

Po: Presión del agua arriba de la válvula (Pa)

P: Presión de agua debajo de la válvula (Pa)

K: Exponente adiabático del aire (1.4)

R: Constante insentropica del aire (278 J/Kg K)

El área del flujo de la válvula se lo puede considerar variable en tres rangos, o puede suponerse constante

$$\pi D_v^2/4$$

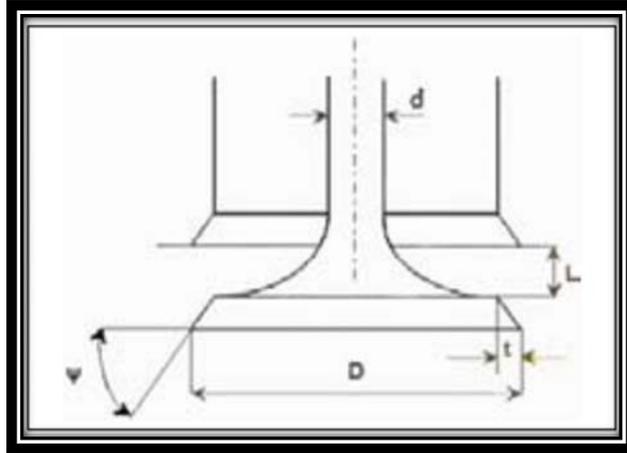


Fig. No.1.24 Dimensionamiento de una válvula

Fuente: (Albanesi et al., 2005)

## 1.20 Campo de Velocidades.

Existen dos enfoques para analizar y predecir el flujo en el interior del cilindro

### 1.20.1 Enfoque global

basado en modelos simples (cero y cuasi dimensionales) que dan información limitada pero útil sobre los procesos implicados por ejemplo, los modelos unidimensionales de compresión-expansión, el simétrico del movimiento radial hacia dentro de cámaras labradas en el pistón (squish) o el de cálculo del vórtice centrado en el eje del cilindro

### 1.20.2 Enfoque multidimensional

Permite determinar el campo de velocidades en las direcciones radial, axial y tangencial cuando se trata de estudios tridimensionales o de las dos primeras en los bidimensionales (Stickland, Mckay y Scanlon, 2001).

### 1.21 Ciclo de aire ideal

#### 1.21.1 Ciclo de aire a volumen constante

La aportación de calor al flujo de aire es instantánea en cuanto se completa el proceso de compresión

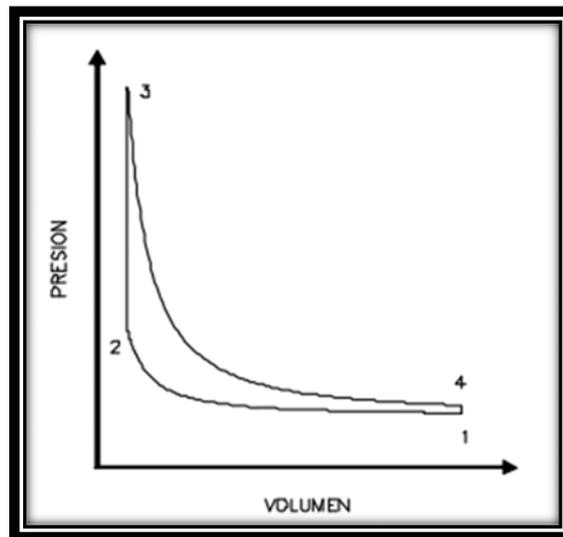


Fig. No.1.25 ciclo de aire a volumen constante

Fuente: (James, E. H., "Combustion Modelling In Spark Ignition Engines,"

Automotive Engineer, 1984.)

### 1.21.2 Ciclo de aire a presión limitada

La aportación de calor se realiza a volumen constante hasta que se alcanza una determinada presión ( $P_{max}$ ) a partir de aquí el resto de calor se libera mientras baja el pistón de manera que la presión se mantiene constante e igual a la presión máxima.

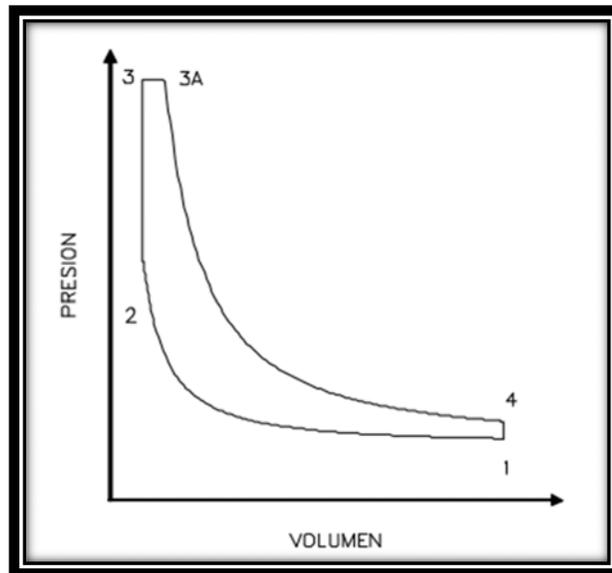


Fig. No.1.26 ciclo de aire a presión limitada

Fuente: (James, E. H., "Combustion Modelling In Spark Ignition Engines,"

Automotive Engineer, 1984.)

### 1.21.3 Ciclo de aire a presión constante

Es una particularización del anterior en el que todo el combustible se quema a presión constante.

Este tipo de ciclo es característico de los motores diésel lentos.

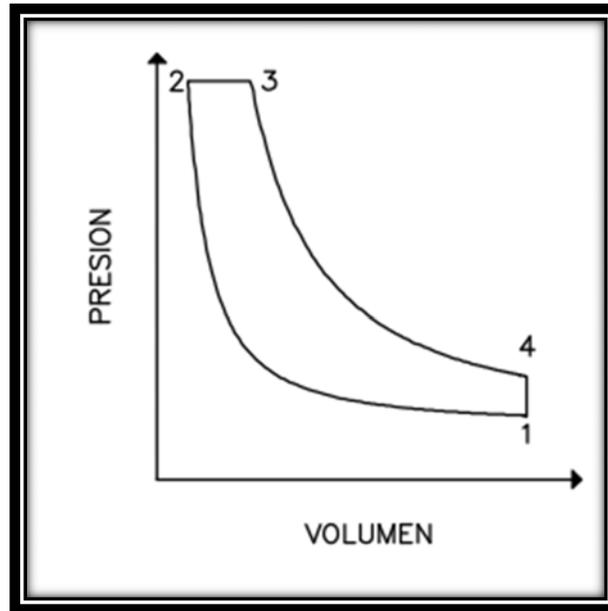


Fig. No.1.27 ciclo de aire a presión constante

Fuente: (James, E. H., "Combustion Modelling In Spark Ignition Engines,"

Automotive Engineer, 1984.)

## 1.22 Presión de la admisión

Al aumentar la presión en la admisión aumentamos la presión media por lo tanto aumentamos la potencia, esta variación de factor se ve aplicada en motores sobrealimentados y de regulación de carga.

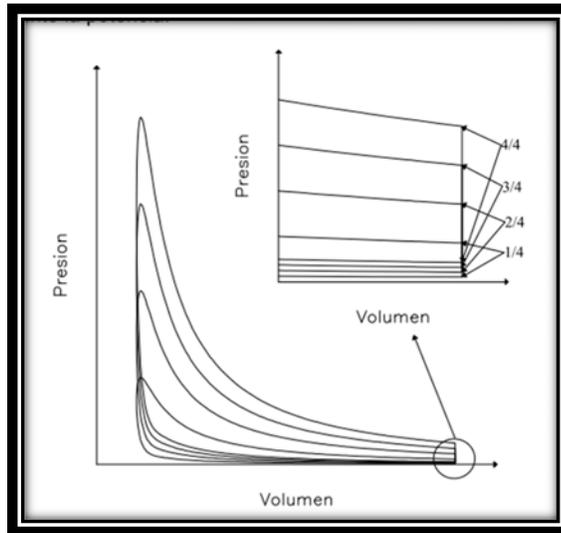


Fig. No.1.28 diagrama de presión de admisión

Fuente: (Rasihhan, Y. and Wallace F. J., "Temperature Transients of Engine  
Combustion Chamber Walls - I-II-III-IV., 1991)

### 1.23 Presión de Escape.

Influye directamente en el proceso de renovación de carga, por lo que si aumentamos la presión en los gases de escape vamos a tener mayor numero de residuos, lo que se verá directamente reflejado en que la combustión sea más lenta

### 1.24 Geometría de la cámara de combustión

#### 1.24.1 Geometría tipo Cuña:

- Última fracción en quemarse muy fría
- Distribución sencilla
- Tamaño pequeño de las válvulas

### 1.24.2 Geometría hemisférica

- Válvulas grandes
- Pequeño recorrido del frente de llama
- Mas difícil la distribución

### 1.24.3 Geometría labrada

- Elevada turbulencia
- Culata sencilla
- Elevada transferencia de calor del pistón

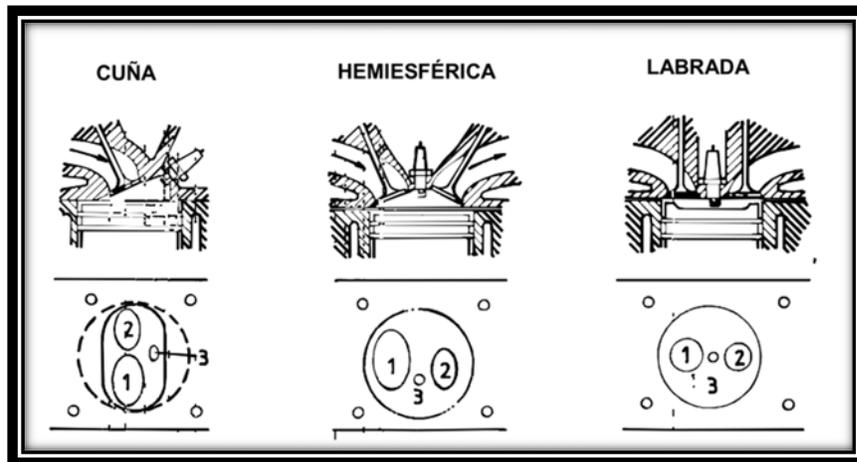


Fig. No.1.29 Geometría de la cámara de combustión

Fuente: (Desantes, J. M. y Lapuerta, M., Fundamentos de Combustión.

Universidad Politécnica de Valencia., 1991)

## 1.25 Factores geométricos que afectan el rendimiento volumétrico

### 1.25.1 Sección de paso de la válvula

Cuan mayor es el paso de flujo por la válvula, mejor es su rendimiento volumétrico

Quando la sección de paso es uniforme hablamos del coeficiente de descarga

$$Cd = \frac{G_{real}}{G_{ideal}}$$

Quando la sección de paso es variable estamos hablando de un coeficiente de flujo, donde el gasto teórico pasaría por el área a hacer referencia

$$Cf = Cd \frac{Av}{Avref} = \frac{G_{real}}{G_{ideal}}$$

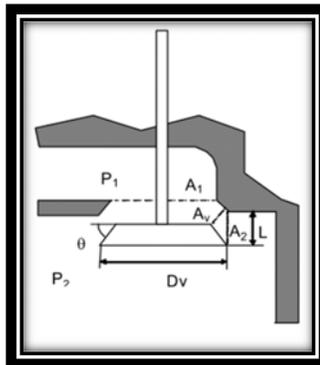


Fig. No.1.30 sección de paso de válvula

Fuente: (Desantes, J. M. y Lapuerta, M., Fundamentos de Combustión.

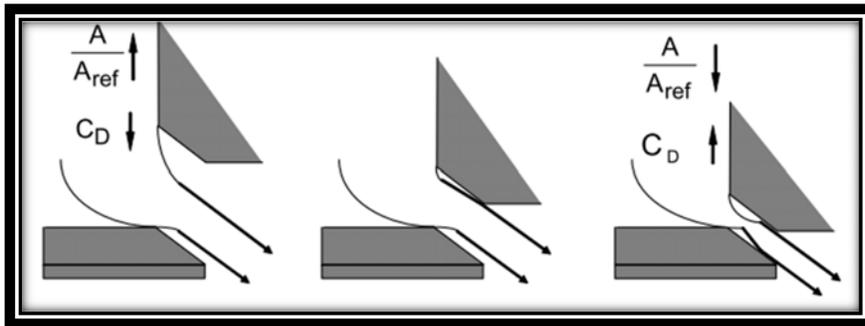


Fig. No.1.31 movimiento del aire en el paso de la válvula

Fuente: (Desantes, J. M. y Lapuerta, M., Fundamentos de Combustión.

## 1.26 Geometría del colector de Admisión

El fluido en el colector de admisión sufre continuas aceleraciones y deceleraciones debido a que el proceso de renovación de la carga es pulsatorio.

Una geometría determinada del colector de admisión puede aumentar o disminuir el rendimiento volumétrico.

Cuanto más estrecho sea el colector de admisión mayores serán las velocidades por él y mayores serán los efectos dinámicos.

También se aumentara este efecto cuanto más largo sea el colector de admisión ya que más masa estará en movimiento.

Por otro lado las pérdidas de carga en el colector serán tanto mayores cuanto más largo y estrecho sea el colector de admisión (altas velocidades).

### **1.27 Reflexión de la onda de depresión al final del colector**

Cuando la onda generada por el proceso de admisión llega al final del colector de admisión se encuentra con un volumen grande que podría entenderse como un ensanchamiento o un extremo abierto, por lo que se refleja cambiando el signo de su amplitud y se convierte en una onda de presión que viaja ahora hacia la válvula de admisión que la generó.

Una longitud adecuada del colector de admisión permite mejorar el llenado a determinados regímenes de giro cuando el tiempo de ida y vuelta de la onda coincide con el tiempo de admisión (variable con el régimen de giro del motor)

Cuando la válvula de escape comienza a abrirse, pone en contacto dos recintos con una enorme diferencia de presión, una cámara de combustión repleta de gas que aun continua en proceso de expansión y un colector a una presión próxima a la ambiental. Esta brusca diferencia crea una onda de presión, que se desplaza por el sistema de escape a una velocidad superior a la de los propios gases, poniendo a los gases en movimiento.

La magnitud de estas ondas de depresión depende de lo brusca que sea la maniobra de apertura de la válvula que comunica ambos recintos, así pues, a altas revoluciones y con un perfil de la leva de escape muy agresivo, la onda de presión creada será mucho mayor y mayor importancia cobrará el aprovechar sus efectos a nuestro favor

Una onda viaja a través del tubo de escape hasta llegar a alguna singularidad que la modifique: un final abierto, en el cual la onda de depresión se ve reflejada convirtiéndose en una onda de contrapresión que viaja en sentido contrario (o sea hacia el motor otra vez) En circunstancias de máximo régimen, es evidente que hemos de desalojar lo más rápido posible los gases quemados, por lo que hemos de construir un conducto de suficiente diámetro, evidentemente a mayor sección, mejor evacuación de los gases, también se han de minimizar las singularidades tales como codos, ensanchamientos, estrechamientos

Si cuando llega esta onda de contrapresión, está la válvula de escape abierta, esto creará una depresión en el interior del cilindro que nos ayudará a vaciar los gases residuales de la cámara de combustión, con lo cual entrará más gasolina al haber más sitio, aumentando la potencia del motor (y aumentando el consumo), cuanto más alto sea el régimen al que se trabaja (revoluciones) mayor será la onda de contrapresión.

En definitiva, la onda de contrapresión es necesaria para vaciar al máximo la cámara de combustión aprovechando ese pequeño instante que

aun esta la válvula de escape abierta, para así poder meter más mezcla en la cámara de combustión.

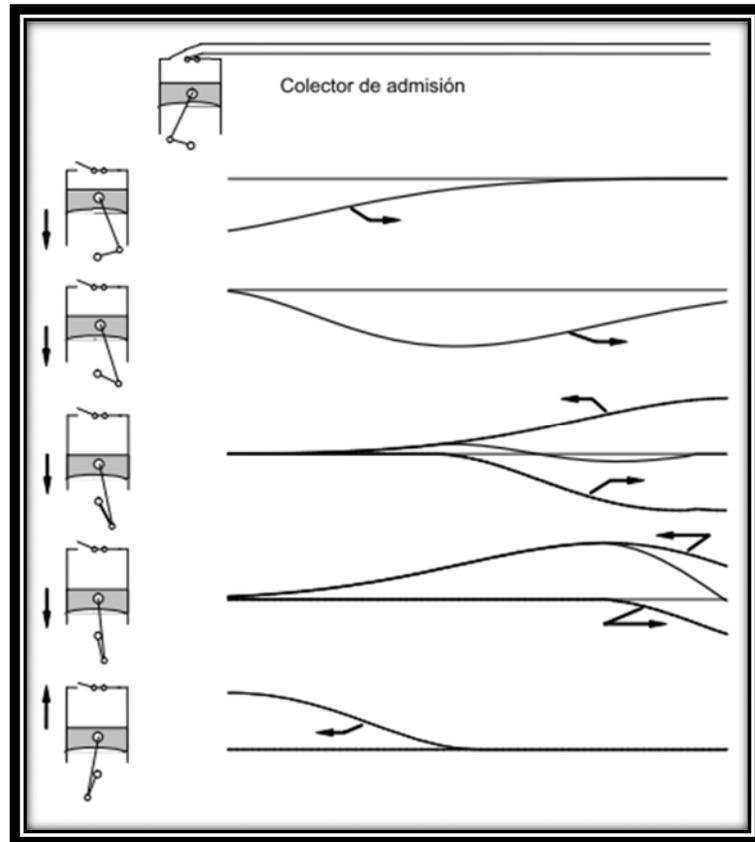


Fig. No.1.32 movimiento de flujo en la admisión

Fuente: (Obert, E. F., Motores de Combustión Interna. 1980)

### 1.28 Régimen de giro del motor

Cuando el régimen de giro aumenta el tiempo para el llenado disminuye y para desplazar el mismo volumen es necesario mayor velocidad de paso de flujo o mayor sección. Valores muy elevados del número de mach en la válvula provocan el bloqueo de la sección y el llenado es muy deficiente.

Los motores se diseñan para que el número de Mach en la válvula no supere valores del orden de 0.5.

### **1.29 Temperatura ambiente y temperatura del motor**

El rendimiento volumétrico mejora con la temperatura ambiente ya que disminuye la transmisión de calor durante el proceso de admisión.

Al estar el motor más caliente el fluido se calienta más durante la entrada y el llenado empeora.

## 2 Análisis y modificación de la culata

### 2.1 Cálculo de velocidad de gases en conductos de admisión

Tabla No.2.1 Datos del Vehículo

Dímetro válvula de admisión:	28.5 mm
Asiento de válvula:	45 grados
Alzada de válvula:	8 mm
Vástago de válvula	6 mm
Dímetro de conducto	24 mm
Dímetro del pistón:	79 mm
Carrera:	81.5 mm
Régimen de potencia máxima	6000 rpm

(Elaborado por Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

El punto de partida para la modificación y preparación las toberas de admisión, claramente son calculas los parámetros que vamos a modificar y

sobre que vamos a trabajar, es así que procederemos con el cálculo de nuestro cabezote estándar

- Calculo de la velocidad media del pistón (VMP)

$$VMP = \frac{Carrera \times RPM}{30}$$

- Calculo de la superficie de la cabeza del pistón (SP)

$$SP = \pi \times R^2$$

- Calculo de la superficie del conducto (SC)

$$SC = \pi \times R^2$$

- Calculo de la superficie del asiento de la válvula (SaV)

$$SaV = \pi \times R^2$$

- Calculo del área del pasaje de la válvula (SpV)

$$SpV = \pi \times Dv \times A \times \cos a$$

- Calculo de la sección del vástago de la válvula (Svv)

$$Svv = \pi \times R^2$$

De aquí podemos calcular las diferentes secciones de pasaje del conducto

### 2.1.1 Velocidad de gases en la válvula (Vgv)

$$Vgv = VMP \times \frac{SP}{SpV}$$

### 2.1.2 Velocidad de los gases en el asiento de la válvula (Vga)

$$Vga = VMP \times \frac{SP}{(SaV - Svv)}$$

### 2.1.3 Velocidad de gases en el conducto (VGc)

$$VGc = VMP \times \frac{SP}{Sc}$$

(Passaniti, 2008)

### 2.1.4 Resultados Obtenidos con el EES

A = 8 [mm]

Av = 57 [mm]

C = 85 [mm]

D = 79 [mm]

Dc = 48 [mm]

Dv = 57 [mm]

rpm = 6000

SaV = 25,52 [cm<sup>2</sup>]

SC = 18,1 [cm<sup>2</sup>]

SP = 49,02 [cm<sup>2</sup>]

Spv = 10,13 [cm<sup>2</sup>]

Svv = 1,131 [cm<sup>2</sup>]

Vga = 34,17 [m/s]

Vgc = 46,05 [m/s]

Vgv = 82,26 [m/s]

VMP = 17 [m/s]

Vv = 12 [mm]

## **2.2 Modificaciones en toberas de admisión**

Lo más efectivo que podemos realizar es evitar que la mezcla aire-combustible pierda velocidad a la entrada a la cámara de combustión.

Los trabajos que se pueden realizar dentro de las toberas del cabezote dependen mucho del diseño del fabricante, de ahí también de acuerdo a la disposición del mismo es decir si es un auto deportivo uno de calle. (Guillieri, 2006)

## **2.3 Condiciones ideales de la tobera de admisión**

La construcción de los conductos de admisión en vehículos de serie esta netamente ligada a la construcción y ergonomía del vehiculo no obstante no es un diseño totalmente eficiente, como es el caso para un vehiculo diseñado para carreras tenemos los siguientes parámetros de diseño

0. Diámetro de la válvula
1. Cámara de combustión
2. Asiento de la válvula
3. Embocamiento del conducto
4. Zona de ampliación del conducto en forma troncocónica
5. Zona cilíndrica
6. Zona cónica de entrada

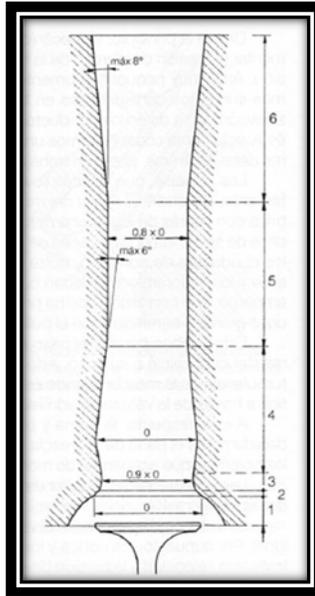


Fig No.2.1 diseño ideal del colector de admisión

Fuente: (Guillieri, 2006)

### 2.3.1 Turbulencia de los gases en la admisión

Una vez ingresado el volumen a la cámara de combustión, para obtener el mayor rendimiento del motor, la combustión debe realizarse en el menor tiempo posible, esto facilita que alcance altas rpm rápidamente.

La velocidad de la turbulencia con la que penetra la mezcla en el cilindro debe ser mantenida y acelerada por el pistón, durante la compresión de la mezcla.

La velocidad residual de desplazamiento de la mezcla comprimida, facilita la instantánea inflamación de toda la mezcla, llamada también turbulencia de caída

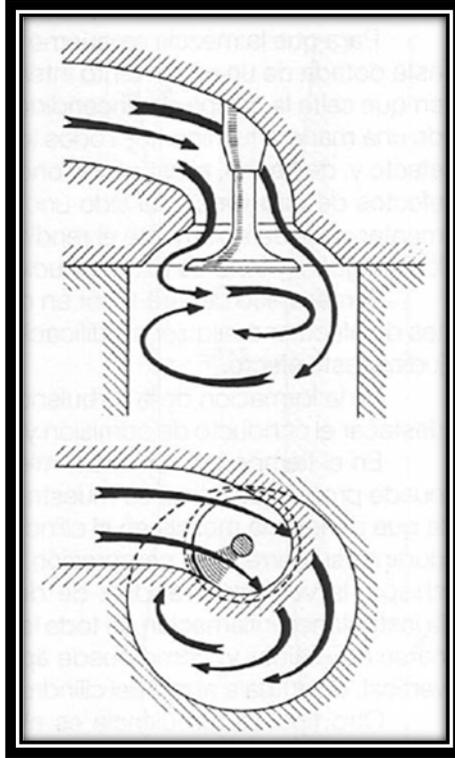


Fig No.2.2 Flujo horizontal en la admisión

Fuente: (Guillieri, 2006)

### 2.3.2 Trabajos en los conductos de admisión

El trabajo a realizarse en las toberas de admisión, es para mantener una turbulencia horizontal, es así que se debe hacer un estudio previo antes de hacer el desbaste de material sin tomar en cuenta ninguna apreciación.

En la imagen a continuación se puede observar en trabajo de devaste orientado a aumentar la conicidad del conducto de admisión.

Donde las figuras A, nos indican una tobera de admisión de seria.

La figura B, nos da una esquematización de cómo se deben hacer los trabajos de Flujometría, donde en 1 es donde se forman torbellinos que disminuyen la velocidad de flujo de aire.

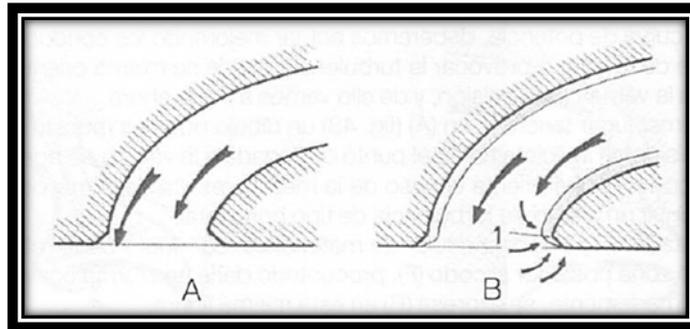


Fig No.2. 3 recorte de vórtices tobera de admisión

Fuente: (Guillieri, 2006)

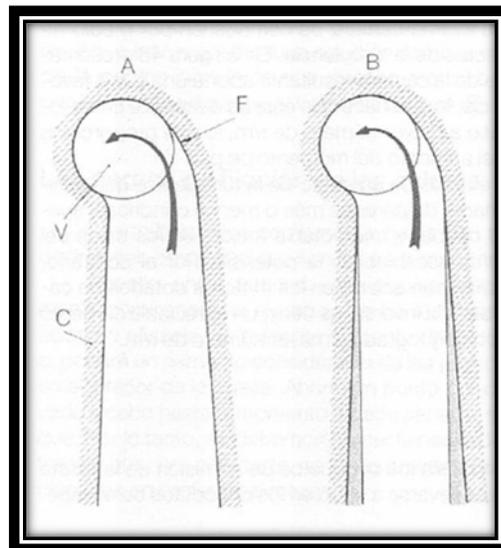


Fig No.2.4 Modificaciones en la tobera de admisión

Fuente: (Guillieri, 2006)

Una vez realizados los trabajos, es necesario hacerle retoques para aumentar el flujo y darle mayor direccionamiento.

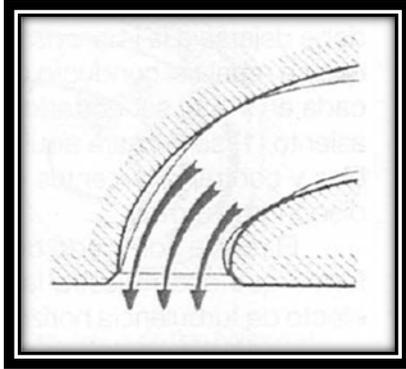


Fig No.2. 5 Tobera de admisión retocada

Fuente: (Guillieri, 2006)

### 2.3.3 Conductos de escape.

Para la modificación de las toberas de escape nuestro mayor interés es que salga a la mayor velocidad posible los gases quemados, es así que solamente necesitamos hacerle lo más libre posible.

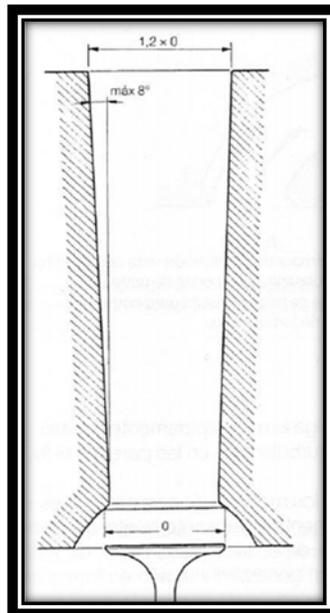


Fig No.2.6 Tobera de escape flujado

Fuente: (Guillieri, 2006)

## **2.4 Trabajos En El Cabezote**

La culata está diseñada de una aleación ligera, para poder llegar así a la temperatura normal de trabajo (87 grados), como así mismo se disipa más rápido la temperatura, en el caso que aumente la temperatura normal, otra ventaja de la aleación es la facilidad con la que se puede hacer modificaciones, que a diferencia de anteriores aleaciones era mucho más complicado

Para poder modificar el diseño de una culata, es necesario hacer un análisis informativo para ver que técnica de modificación es más eficiente.

### **2.4.1 Pulido de la Cámara de Combustión**

La realización de este trabajo aumenta la eficiencia en la: generación de la onda expansiva y la velocidad de explosión de la mezcla dentro de la cámara de combustión

El trabajo de pulida consiste en:

1. Limpieza de la cámara de combustión, mediante el uso de removedor de pintura y un cepillo de cerdas metálicas.
2. Una vez limpia la cámara de combustión, procedemos a pulir su superficie con una lija fina (grano 600), hasta obtener un terminado uniforme.
3. A paso seguido, procedemos a pulir con una lija fina tipo esponja (grano 1500), hasta obtener un resultado tipo cromo.

#### 2.4.2 Trabajos en válvulas y asientos de válvulas.

Conseguir un mayor flujo de entrada de mezcla explosiva es la forma más efectiva de aumentar la potencia de un motor de combustión interna, es así como la media ideal de las cabezas de válvulas debería ser, la suma del diámetro de las dos válvulas deberá ser equivalente al radio del cilindro, para los cilindros de dos válvulas.

Es así como en cilindro de 4 válvulas la suma de las dos pequeñas es mayor a una sola, con esto se mejora la turbulencia y el llenado en la cámara de combustión

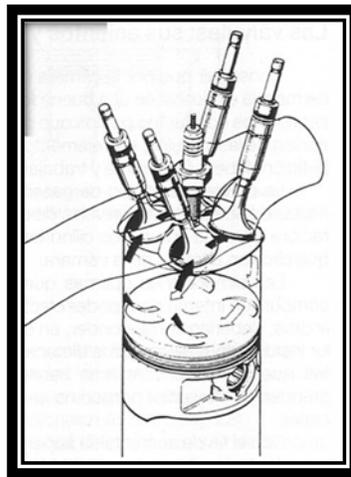


Fig No.2.7 Cámara de combustión multivalvular

Fuente: (Guillieri, 2006)

Es por tal razón que obtenemos mayores ventajas en la modificación de una culata multivalvular.

### 2.4.3 Trabajos a Realizarse en los Pasajes de las Válvulas

- **Recorte de asientos de válvulas.** si se ha tomado la decisión de colocar válvulas de mayor diámetro, uno de los trabajos a realizarse es la extracción de los asientos de válvulas antiguos, fresar la medida original por la nueva medida de la base del asiento de la válvula sobredimensionada.

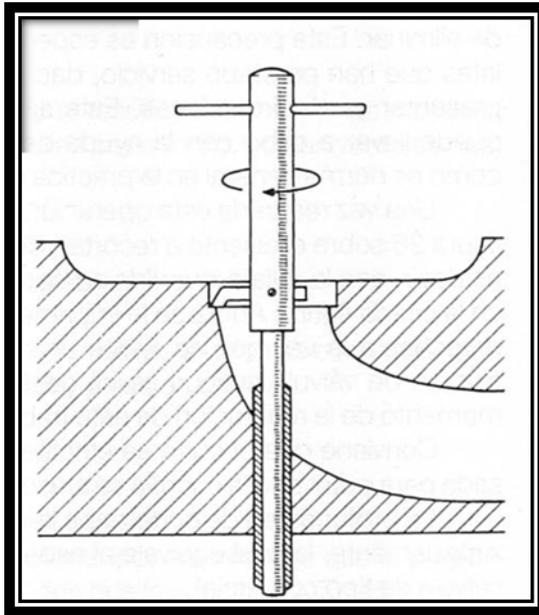


Fig No.2.8 asiento de válvula escariado

Fuente: (Guillieri, 2006)

- **Escariado de guías de válvulas.-** con la ayuda de un escariador, procedemos a abrir el diámetro de la guía de válvula, para poder colocar la válvula sobredimensionada, tomando en cuenta que debemos dejar una holgura entre el diámetro de la válvula y la guía de la misma de 5 a 7.5 milésimas de milímetro.

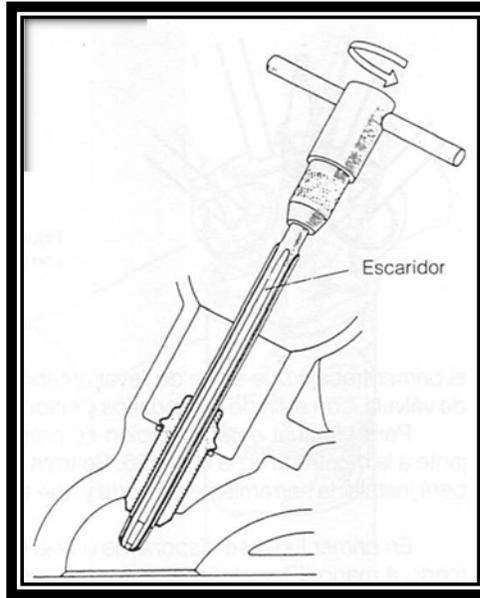


Fig No.2.9 escariado de guía de válvula

Fuente: (Guillieri, 2006)

- **Fresado del asiento de válvula.**- una vez cambiados los asientos de válvulas, estos se deberán fresar a 45 o 60 grados según la necesidad, considerando que el fresado debe tener una medida de 1.1 mm, ya que de ser esta menor, se traducen en un mal sellado de la válvula, lo que implica un perdida de compresión y posterior disminución de potencia. De la misma manera si sobrepasamos esta medida, la disipación de temperatura es mucho más ineficiente por lo que implica un sobrecalentamiento en las válvulas y su posterior deformación.

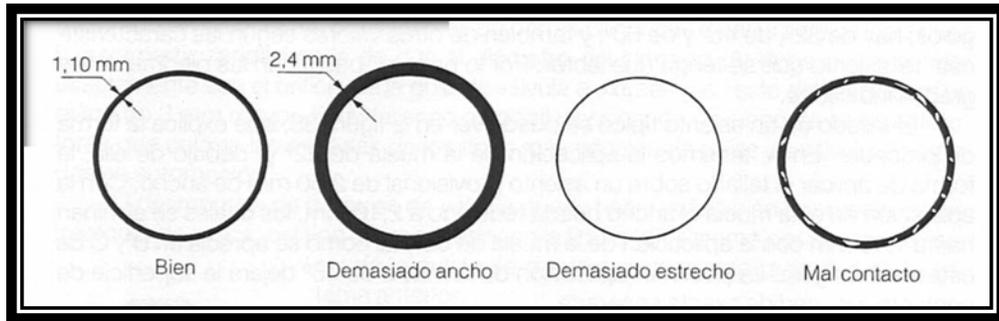


Fig No.2. 10 disposición de anillos de válvulas

Fuente: (Trucaje de motores de cuatro tiempo, Miguel de Castro, Vicente. 2004)

El perfecto tallado de un asiento está enfocado en la utilización de diferentes muelas hasta alcanzar la media ideal es así como se puede apreciar en la figura, en A aplicamos una muela a 32 grados quedándonos una medida de ataque de 2.50 mm, que después de ser pasado en B por las de 60 grados se disminuya a 2.10, y finalmente llegamos a la medida ideal de 1.10 mm con una fresa de 45 grados

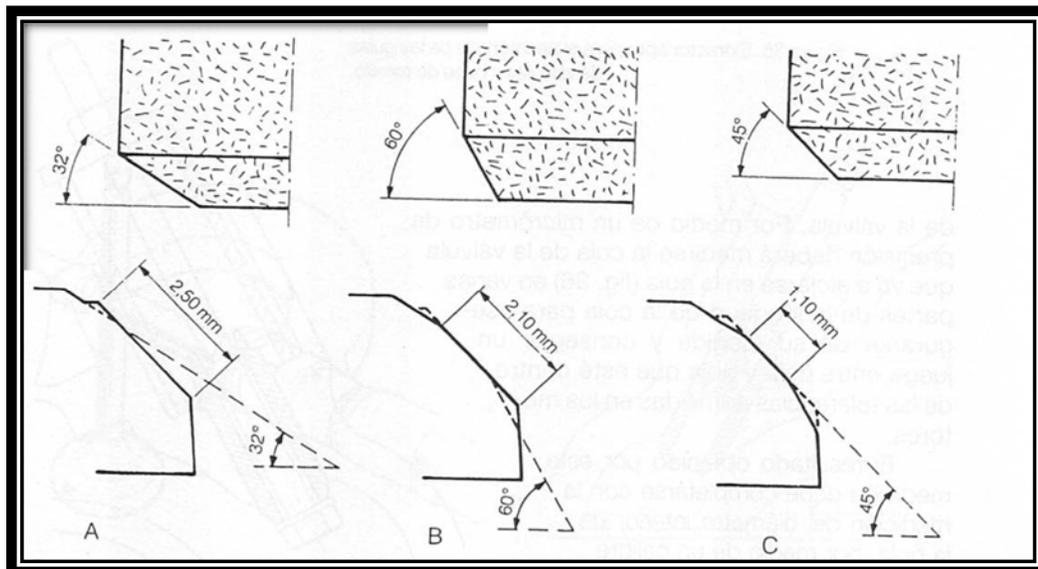


Fig No.2.11 maquinado de asiento de válvula

Fuente: (Vicente, 2004)

- **Recorte de asiento de guía de válvula.-** la mayoría de motores de fabricación en serie, tienen sobresaliente a  $\frac{1}{4}$  de su medida total el cuerpo de la guía hacia la falda, lo que ayuda a disminuir costos, esto se logra cubriendo a la válvula de fuego extremo y alargando su punto de sujeción. Esta modificación nos da paso a un mayor ingreso de aire a la cámara y menor resistencia por el cuerpo de la guía.

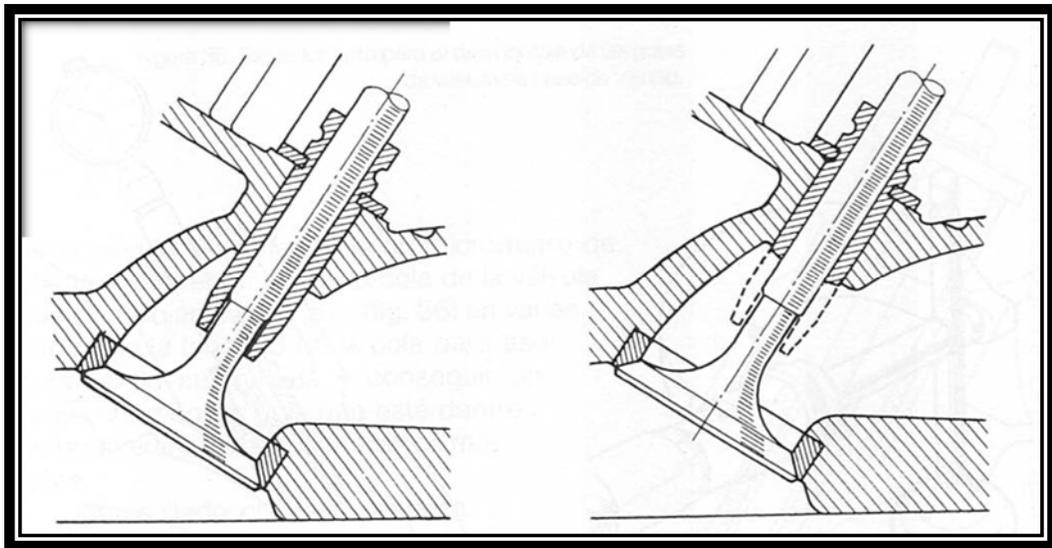


Fig No.2.12 Guía de válvula rebajada

Fuente: (Vicente, 2004)

#### 2.4.4 Trabajos En Los Ejes De Levas.

La modificación de un eje de levas nos da como resultado el aumento de llenado de la cámara de expansión y aumento en la velocidad de trabajo del conjunto valvular.

Para el mejoramiento de la aspiración de la cámara de combustión, es necesario modificar dos aspectos:

- Es necesario que la válvula se abra más deprisa, aumentando la alzada y retardando el cierre a comparación de la medida original.
- También el mantener la válvula más tiempo abierto, para trabajar y aprovechar de mejor manera la inercia de movimiento de los gases.

#### 2.4.5 Perfil de Levas

El perfil de la leva está diseñado en base a parámetros computarizados, para obtener el mayor torque y menor consumo de combustible.

El diseño de la leva se basa en varios factores como es la apertura de válvula, tiempo de apertura, velocidad de apertura y distancia de apertura de las mismas, es así como mediante el giro del cigüeñal, varía el flujo que ingresa a la cámara de combustión.

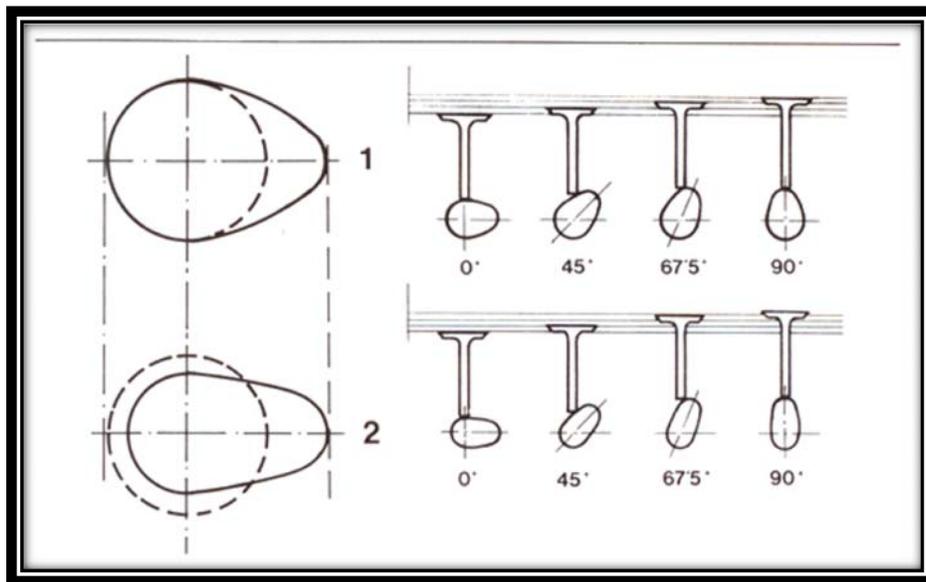


Fig No.2.13 Perfil de leva de alto desempeño

Fuente: (Vicente, 2004)

En el siguiente grafico se observa dos perfiles de leva:

1. El primero corresponde a un perfil de leva original de un vehículo estándar.
2. El segundo corresponde a un perfil de leva deportivo de un vehículo modificado, donde se puede observar q a diferencia de la original se mantiene más tiempo abierto.

De esta manera obtenemos la siguiente tabla comparativa.

	Motores comerciales	Motores rápidos
Avance apertura admisión AAA	De 10° a 15°	De 12° a 40°
Retardo cierre admisión RCA	De 35° a 45°	De 40° a 80°
Avance apertura escape AAE	De 35° a 45°	De 40° a 80°
Retardo cierre escape RCE	De 10° a 15°	De 12° a 40°

Fig No.2.14 diferencias entre ejes de levas

Fuente: (Guillieri, 2006)

Esta modificación se vuelve más notable, sobre marcha, es así que en bajas revoluciones es inestable y es necesario de un ralentí e 2000 rpm para que no se pague el motor.

Pero a diferencia este motor puede llegar un alrededor de 8000 a 10000 rpm por la velocidad de giro.

En base a estos factores distribuimos el trabajo a realizar el motor, como puede ser de rally, pista o drag.

Como por ejemplo:

- Eje de levas diseñado para rally

AAA	avance a apertura de admisión:	40 antes del pms
RCA	retraso al cierre de admisión:	80 después del pmi
AAE	avance a apertura de escape:	80 antes del pmi
RCE	retraso al cierre de escape:	40 después del pms

Cruce de válvulas de 80 grados, en esta configuración obtendremos una potencia efectiva arriba de las 3000 rpm

- Eje de levas diseñado para pista

AAA	avance a apertura de admisión:	50 antes del pms
RCA	retraso al cierre de admisión:	80 después del pmi
AAE	avance a apertura de escape:	80 antes del pmi
RCE	retraso al cierre de escape:	50 después del pms

Cruce de válvulas de 100 grados, en esta configuración obtendremos una potencia efectiva arriba de las 6000 rpm. (Vicente, 2004)

## 2.5 Cálculos de flujo conductos modificados

Para el cálculo de los conductos modificados nos basamos en los valores estándar que no varían

- Velocidad media del pistón

$$VMP = 17.02 \text{ m/s}$$

- Superficie del pistón

$$SP = 49.01 \text{ cm}^2$$

- superficie del conducto

$$SC = \pi \times R^2$$

$$SC \text{ modificado} = \pi \times 1.25 \text{ cm}^2$$

$$SC \text{ modificado} = 4.91 \text{ cm}^2$$

De aquí podemos calcular las diferentes secciones de pasaje del conducto

### 2.5.1 Velocidad de gases en el conducto (VGc)

$$VGc = VMP \times \frac{SP}{Sc}$$

$$Vgc \text{ modificado} = 17.02 \text{ m/s} \times \frac{49.01 \text{ cm}^2}{4.91 \text{ cm}^2}$$

$$Vgc \text{ modificado} = 169.88 \text{ m/s}$$

(Passaniti, 2008)

Es así que podemos ver la variación de velocidad calculada en el conducto modificado.

Cabe recalcar que los cálculos de continuidad son diseñados para obtener una relación y diferenciación del cambio de velocidades en cada sección del conducto

## **2.6 Mecanizado de la culata**

Antes de empezar los trabajos en la culata, tomamos una medida primaria en el conducto de admisión y en el conducto de escape, para determinar la relación de flujo que se mantiene entre los dos conductos.

Teniendo como resultado que la tobera de admisión es 5 por ciento más grande que el de escape, para así poder mantener esta proporción después de fluir el mismo.



Fig No.2.15 Preparación de la culata

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

Una vez tomadas las primeras medidas, procedemos a sobredimensionar el asiento de las toberas para hacer que la unión entre la culata y los múltiples sea perfecta y no tener pérdidas de flujo



Fig No.2.16 Comprobación de asiento de múltiples

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

Procedemos a dimensionar los asientos de las culatas



Fig No.2.17 pulido de toberas de admision

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

Luego a continuación damos una pasada por todo el conducto para alisar el interior y bajar las guías de válvula



Fig No.2.18 alisamiento interior de conductos

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)



Fig No.2.19 alisamiento de conductos

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

Una vez que sobredimensionamos los conductos procedemos a pulir los mismos con gratas



Fig No.2. 20 pulido de conductos

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)



Fig No.2.21 pulido de conductos de admisión

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)



Fig No.2. 22 pulido de conductos de escape

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

## 2.7 Resultados en el mecanizado del cabezote

Basándonos en la figura 2.1 podemos demostrar la siguiente modificación en los conductos.

Tabla No.2. 2 modificaciones de los conductos

	Estandar	Modificado
0. Diámetro de la válvula	57.0 mm	57.0 mm
1. Cámara de combustión	57.0 mm	57.0 mm
2. Asiento de la válvula	57.0 mm	57.0 mm
3. Embocamiento del conducto	48.0 mm	49.8 mm
4. Zona de ampliación del conducto en forma troncocónica	57.0 mm	58.8 mm
5. Zona cilíndrica	58 mm	60.4 mm
6. Zona cónica de entrada	60 mm	65.5 mm

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

### **3 Protocolo de experimentación**

Una vez que ya tenemos todos los elementos para hacer una prueba de flujo, empezamos a preparar los elementos para la misma

#### **3.1 Preparación de la Culata.**

Para este fin tenemos dos cámaras flujadas y dos cámaras estándar.

Procedemos a colocar las válvulas, junto con resortes más suaves para hacer más fácil su accionamiento y simulación de apertura.

Fabricamos una herramienta, la misma que nos va ayudar a calibrar la medida de apertura de las válvulas de admisión.

Medimos la alzada original que presenta el árbol de levas, siendo este de 8.5 mm

Cerramos las válvulas de escape para comprobar el paso de aire por los conductos de admisión.

#### **3.2 Puesta a punto del Medidor de Flujo**

En esta parte procedemos a revisar que se encuentre en medida para los correctos funcionamientos y toma de información del mismo, como es el caso nivel de presión de aire, porcentaje de paso de flujo.

Para efecto de la misma vamos a trabajar en una escala de 129 CFM, la misma que se consigue con la combinación 1+3 (primer más el tercer conducto abiertos).

Hemos elegido esta combinación ya que es la que nos permite apreciar de mejor manera en la escala los resultados obtenidos.

La escala a ser utilizada la hacemos en base al tamaño de los conductos a comprobar.

### **3.3 Formato para la medición de flujo**

Para la realización de prueba flujo vamos a seguir los siguientes pasos:

1. Comprobación de equipo en optimas condiciones de funcionamiento
2. Colocación de adaptador para culata en flujometro
3. Revisar niveles de medición del flujometro
4. Colocar la culata a ser medida
5. Colocar las válvulas de la culata en medida de medición
6. Colocar el flujometro en la escala a medir
7. Encender el equipo por 1 minuto
8. Registrar valores medidos antes de apagar el equipo.

### 3.4 Pruebas de flujo en conductos estándar

Colocamos la culata en el flujometro y empezamos las pruebas, obteniendo los siguientes resultados en tres pruebas seriales en el primer conducto estándar

Tabla No.3. 1 prueba en primer conductos estándar

<b>PRIMER CONDUCTO ESTANDAR</b>	<b>PRIMERA PRUEBA</b>	<b>SEGUNDA PRUEBA</b>	<b>TERCERA PRUEBA</b>
<b>PORCENTAJE DE FLUJO</b>	77%	78%	77%
<b>PRESION DE SUCCION</b>	2.8 ln H2O	2.6 in H2O	2.8 in H2O

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

Tabla No.3. 2 prueba en segundo conductos estandar

<b>SEGUNDO CONDUCTO ESTANDAR</b>	<b>PRIMERA PRUEBA</b>	<b>SEGUNDA PRUEBA</b>	<b>TERCERA PRUEBA</b>
<b>PORCENTAJE DE FLUJO</b>	77%	76%	76%
<b>PRESION DE SUCCION</b>	2.7 ln H2O	2.9 in H2O	2.7 in H2O

(Elaborado por Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

### 3.5 Pruebas de Flujo en conductos mejorados

Procedemos a comprobar los conductos mejorados, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla No.3. 3 prueba en primer conducto modificado

<b>PRIMER CONDUCTO MEJORADO</b>	<b>PRIMERA PRUEBA</b>	<b>SEGUNDA PRUEBA</b>	<b>TERCERA PRUEBA</b>
<b>PORCENTAJE DE FLUJO</b>	80%	80%	81%
<b>PRESION DE SUCCION</b>	2.6 In H2O	2.6 in H2O	2.4 in H2O

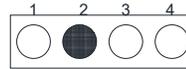
Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

Tabla No.3. 4 Prueba en segundo conducto modificado

<b>SEGUNDO CONDUCTO MEJORADO</b>	<b>PRIMERA PRUEBA</b>	<b>SEGUNDA PRUEBA</b>	<b>TERCERA PRUEBA</b>
<b>PORCENTAJE DE FLUJO</b>	81%	81%	82%
<b>PRESION DE SUCCION</b>	2.5 In H2O	2.5 in H2O	2.4 in H2O

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

### 3.6 Analisis de Resultados:



#### 3.6.1 Primera cámara estándar

En el primer conducto estándar nos dio como resultado que:

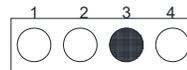
Trabajando con la combinación de 129 cfm (1+3) con la medida de 8mm de alza en las válvulas nos despliega un paso de flujo de 77.5% por los conductos a una presión de 2.7 in H<sub>2</sub>O

Lo que nos da:

$$\frac{100\% - 129 \text{ cfm}}{77.5\% - x}$$

$$129 \text{ cfm} \times 77.5\% = 99.97 \text{ cfm}$$

Es así que



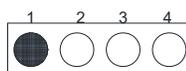
#### 3.6.2 Segunda cámara estándar

En el segundo conducto estándar nos dio como resultado que:

A 129 cfm tenemos un paso de flujo del 76.5% a una presión de 2.8 in H<sub>2</sub>O

Lo que nos da:

$$129 \text{ cfm} \times 76.5\% = 98.69 \text{ cfm}$$



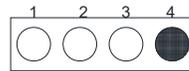
#### 3.6.3 Primera cámara modificada

En el primer conducto estándar nos dio como resultado que:

A 129 cfm tenemos un paso de flujo del 76.5% a una presión de 2.5 in H<sub>2</sub>O

Lo que nos da:

$$129cfm \times 80\% = 103.2 \text{ cfm}$$



### 3.6.4 Segunda cámara modificada

En el segundo conducto estándar nos dio como resultado que:

A 129 cfm tenemos un paso de flujo del 76.5% de flujo a una presión de 2.5 in H<sub>2</sub>O

Lo que nos da:

$$129cfm \times 81.5\% = 105.13 \text{ cfm}$$

### 3.7 Discusión

Con el diseño de este flujómetro es factible tomar una medida exacta del aire que ingresa hacia la cámara de combustión, así mismo se puede hacer simulaciones de la apertura de las válvulas para tomar varias medidas

Así mismo comprobamos el flujo ideal mediante la medición de los conductos modificados y los conductos estándar, la misma que nos dio una diferencia notable. La modificación se centra básicamente en los conductos de admisión y escape así como en las guías de válvulas.

Mediante la modificación de los conductos de admisión y escape, se logró conseguir un mayor flujo de aire ingresado en los conductos modificados en relación a los conductos estándar, ya que se ganó un 8% en las pruebas realizadas que es de 6.44 cfm y según lo calculado en trabajo real de 14.66 cfm de mejora en cada conducto, lo que significa un aumento significativo del rendimiento de la culata en conjunto con el bloque de cilindros.

Gracias a los trabajos de modificación de los conductos como son sobredimensionamientos, alisamiento de aristas, eliminación de rugosidades, eliminado de obstrucción de guía de válvula y ampliación de cámaras para obtener el mejor rendimiento a una culata sin excedernos, ya que si lo hacemos en lugar de conseguir una mejora podemos afectar al rendimiento de la misma, es por eso importante tomar en cuenta varios aspectos al momento de empezar a modificar los conductos tanto de admisión como de escape ya que si ambos conductos no están modificados el uno en relación al otro nos presentara problemas al momento de la marcha.

En base a los resultados obtenidos en la medida de los conductos estándar entre sí mismos

$$99.97 \text{ cfm} - 98.69 \text{ cfm} = 1.28 \text{ cfm}$$

Tenemos una diferencia del 1.28 cfm, el mismo que se da por que la mecanización de una culata es en base a un molde y a la realización de

piezas en serie, por tal razón los conductos no son el 100% eficientes ni equilibrados tomando en cuenta el plano de construcción de fábrica.

De igual manera en los modificamos obtuvimos la siguiente diferencia:

$$105.13 \text{ cfm} - 103.2 \text{ cfm} = 1.93 \text{ cfm}$$

Con esta prueba, básicamente podemos comprobar la teoría de que en el país los trabajos de flujo en la culata se hacen empíricamente y no se tiene un parámetro de máximo y mínimo rendimiento comprobado, como así también la calibración del flujo en los mismos.

Comprobando valores estándar vs modificado tenemos:

$$105.13 \text{ cfm} - 98.69 \text{ cfm} = 6.44 \text{ cfm}$$

$$6.44 \text{ cfm} \times 4 = 25.76 \text{ cfm} \text{ en todo el motor}$$

Como podemos observar el mejoramiento en el motor es notorio, el mismo que gracias al equipo de comprobación se lo puede calibrar en los cuatro cilindros

### **3.8 Ciclo Cima**

Con el presente ciclo podemos calcular el funcionamiento del motor en condiciones reales bajo medidas prescritas por el fabricante.

Los mismos que son posible con el programa EES.

"datos del motor"

Rpm= 6000

"constante volumetrica del aire"

eta\_v= ,95

"numero de ciclos"

n=2

"numero de cilindros"

Nc=4

"presion atmosferica"

P[0]=75

"temperatura ambiente"

T[0]= 22+273

"constante masica de aire"

eta\_m= ,90

rho\_a= DENSITY(Air;T=T[0];P=P[0])

vd=c/Nc

"relacion de compresion"

rc=9,5

$$vc=vd/rc$$

"cilindraje"

$$c=1,598e-3$$

$$\lambda=1$$

"coeficiente aire combustible"

$$AF= 15,05$$

$$\dot{m}_a = (\eta_v \cdot v_d \cdot \rho_a \cdot R_{pm} \cdot (1/60))/2$$

$$Ra=0,2129$$

"Estado 1"

$$m_a = \eta_v \cdot \rho_a \cdot v_d$$

$$m_f = m_a / AF$$

$$m = m_a + m_f$$

$$v[1] = (v_d + v_c) / m$$

$$P[1] = P[0]$$

$$T[1] = P[1] \cdot (v_d + v_c) / (m_a \cdot Ra)$$

$$u[1] = \text{INTENERGY}(\text{Air}; T=T[1])$$

$$s[1] = \text{ENTROPY}(\text{Air}; T=T[1]; P=P[1])$$

"Estado 2"

$$P[2] = P[1] * r_c * (T[2]/T[1])$$

$$s[1] = s[2]$$

$$s[2] = \text{ENTROPY}(\text{Air}; T=T[2]; P=P[2])$$

$$u[2] = \text{INTENERGY}(\text{Air}; T=T[2])$$

$$v[2] = v_c / \text{mm}$$

"Estado 3"

$$P[3] = P[2] * (T[3]/T[2])$$

$$T[3] = 2275 \text{ "GASEQ"}$$

$$s[3] = \text{ENTROPY}(\text{Air}; T=T[3]; P=P[3])$$

$$u[3] = \text{INTENERGY}(\text{Air}; T=T[3])$$

$$v[3] = v[2]$$

"Estado 4"

$$P[4] = P[3] * (1/r_c) * (T[4]/T[3])$$

$$s[4] = s[3]$$

$$s[4] = \text{ENTROPY}(\text{Air}; T=T[4]; P=P[4])$$

$$u[4] = \text{INTENERGY}(\text{Air}; T=T[4])$$

$$v[4] = v[1]$$

"Estado 7"

$$P[7]=P[1]$$

$$s[7]=s[4]$$

$$s[7]=\text{ENTROPY}(\text{Air}; T=T[7]; P=P[7])$$

$$u[7]=\text{INTENERGY}(\text{Air}; T=T[7])$$

"Evaluación del ciclo"

$$d\_omega\_i = ((u[3]-u[4])-(u[2]-u[1]))*(mm)$$

$$d\_dot\_omega\_i = (d\_omega\_i * Rpm * Nc) / (60 * 2)$$

$$d\_dot\_omega\_b = (d\_dot\_omega\_i) * eta\_m$$

$$Hp\_b = d\_dot\_omega\_b / 0,746$$

$$tau\_b = ((d\_dot\_omega\_b) * 10^3) / (Rpm * 2 * (3,1416) / 60)$$

### 3.8.1 Resultados obtenidos

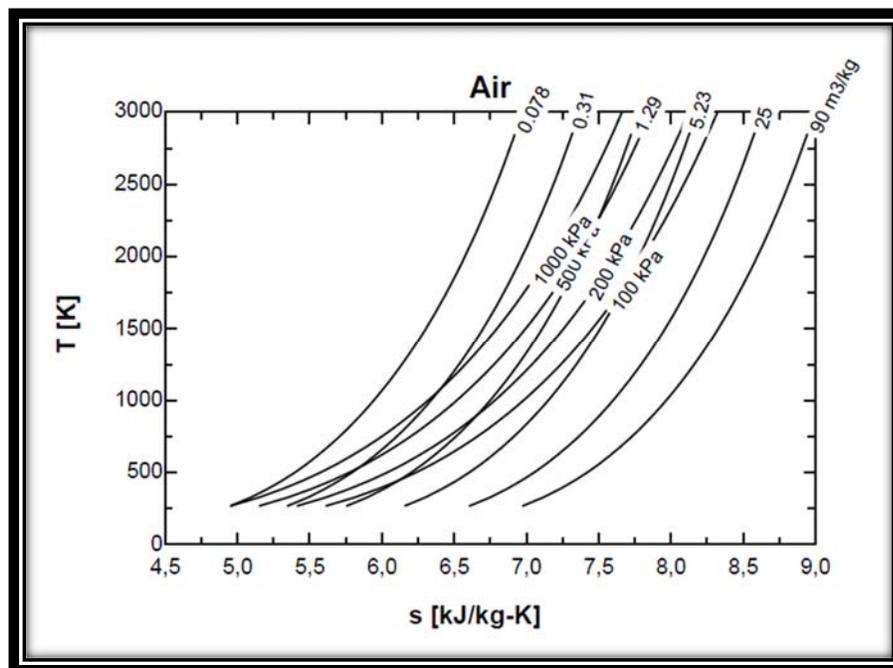
AF = 15,05  
 $\dot{d}_{\omega,b}$  = 38,64  
 $d_{\omega,i}$  = 0,2147  
 $\eta_v$  = 0,95  
 $\lambda$  = 1  
 $m_a$  = 0,0003362  
 $m_f$  = 0,00002234  
Nc = 4  
rc = 9,5  
Rpm = 6000  
vc = 0,00004205

c = 0,001598  
 $\dot{d}_{\omega,i}$  = 42,93  
 $\eta_m$  = 0,9  
Hp<sub>b</sub> = 51,79  
mm = 0,0003585  
 $\dot{m}_a$  = 0,01681  
n = 2  
Ra = 0,2129  
 $\rho_a$  = 0,8858 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\tau_b$  = 61,49  
vd = 0,0003995

Arrays Table					
	$P_i$	$T_i$	$s_i$	$u_i$	$v_i$
	[kJ/kg]				
0	75	295			
1	75	462,7	6,226	332,2	1,232
2	1613	1048	6,226	799,9	0,1173
3	3503	2275	6,943	1944	0,1173
4	184,2	1137	6,943	877,2	1,232
5					
6					
7	75	906,9	6,943	680,5	

**Fig. No.3. 1 datos obtenicos del funcionamiento del mortor**

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)



**Fig. No.3. 2 Temperatura vs poder calorifco obtenido**

Elaborado por (Frank Gavilanez – Danny Gallardo)

## **Conclusiones**

Hemos concluido mediante la optimización del flujo en los conductos de culata se logró conseguir un mayor flujo de aire ingresado a los conductos modificados en relación a los conductos estándar ya que se consiguió mejorar el flujo en un 8%, lo que se traduce en un mejor desempeño del motor.

La base fundamental del mejoramiento del flujo en los conductos de la culata es el diseño y construcción del fabricante ya que los mismos están ligados a la fabricación en serie en base a una matriz estándar de aquí partimos con el análisis y cálculo para el sobredimensionamiento y llegar a un modelo de construcción eficiente donde es mejorado el modelado de los conductos manteniendo una armonía entre los conductos tanto de admisión como de escape así evitando pérdidas de eficiencia del motor.

En base a esto realizamos los trabajos de flujado en la culata donde nuestra principal mejora se ve reflejada en el caudal de aire que pasa a través de los conductos de la culata.

Esta mejora es evaluada y validada por el equipo de comprobación construido para este fin, es así que podemos obtener el mayor rendimiento en el diseño creado, como así también colocar esta misma medida en todos los cilindros.

Así también podemos realizar simulaciones como por ejemplo es la sustitución de una barra de levas estándar por una barra de levas trucada, el sobredimensionamiento de válvulas, el cambio de ángulo del asiento de

la válvula o el nivel de mejoramiento para recalibrar un motor turboalimentado.

En el cálculo de mejoramiento de los conductos obtenemos los siguientes resultados

$$\textit{Velocidad de gases en conducto standart} = 184.54 \text{ m/s}$$

$$\textit{Velocidad de gases en conducto modificado} = 169.88 \text{ m/s}$$

$$\textit{mejora del} = 7.95\%$$

en las pruebas de flujo obtuvimos

$$\textit{Velocidad de gases en conducto standar} = 2.47 \text{ m/s}$$

$$\textit{Velocidad de gases en conducto modificado} = 2.27 \text{ m/s}$$

$$\textit{mejora del} = 7.90\%$$

Como se puede observar con los cálculos realizados, los mismos que son obtenidos del afiche técnica de construcción del fabricante, son consistentes a las modificaciones que se realizan en la culata, es así que el cálculo forma parte indispensable para los trabajos de flujado de los conductos ya que así podemos hacer simulaciones de mejoramiento en calculo antes de adquirir las piezas mejorados como árbol de levas o sobredimensionamiento de válvulas.

Como de igual manera también se puede hacer comprobaciones de pérdida real por la variación de altura del medio donde se desenvuelve

El flujómetro construido para medir el flujo de entrada de aire en la culata, es una herramienta de gran ayuda ya que con esto sabemos exactamente la cantidad o volumen de aire que está ingresando a la culata lo que a su vez nos permite hacer comparaciones entre todos los conductos para llegar a obtener el flujo ideal de aire.

Determinamos que las modificaciones ideales para la optimización de aire en la culata del chevrolet aveo 1.6 fueron las siguientes, devastar y pulir las paredes de los conductos de admisión, dándole un diámetro de 3mm más grande del diámetro original de fábrica, así mismo se eliminaron las guías de válvula esto con el fin de quitarle obstrucciones al paso del aire y por ultimo devastamos y agrandamos los conductos de escape en la mismas medida que se agrando los de admisión con el fin de mantener la relación entre la admisión y salida de gases.

Se concluyó mediante las pruebas de flujo realizadas en los conductos modificados como en los estándar que el rendimiento del cabezote mejoro en un 8% ya que se optimizo el flujo de aire en los conductos.

Los parámetros establecidos para la correcta modificación del cabezote son los siguientes:

Se debe tomar en cuenta que hay un rango máximo de tolerancia que admite el cabezote para conseguir una ganancia, pasado este rango hay la posibilidad de que los resultados no sean los esperados.

Así mismo debemos tomar en cuenta que si se modifica los conductos de admisión también se debe modificar los conductos de escape ya que el mismo volumen de aire que ingresa debe ser el que salga.

Primero se debe analizar los conductos de la culata a modificar ya que puede ser que la los conductos de la misma solamente necesiten ser pulidos y no agrandados.

## **Recomendaciones**

Se deberá hacer un análisis previo de la culata a ser modificada antes de hacer cualquier trabajo en la misma ya que con esto podemos hacer una comparación de las mejoras obtenidas después de hacer las mediciones en el anemómetro.

Para una simulación con mayor precisión es recomendable adoptar la medida del árbol de levas a ser colocado.

Para un análisis de eliminación de peso, así también tomar medidas, antes de trabajar el cabezote

## Bibliografía

- Aristizabal, A., & Cisneros, D. (2010). *DISEÑO DE UN FLUJOMETRO PARA CABEZOTES*. Quito.
- Bosch, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil 4ta EDICIÓN*. BOSCH.
- Celis, E. (Agosto de 2013). *Automecanico.com*. (E. Celis, Editor)  
Recuperado el Mayo de 2014, de cabezas/culatas:  
<http://www.automecanico.com/>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *MECÁNICA DE FLUIDOS Fundamentos y Aplicaciones*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Cordón, M. (2006). *La Genesis de la Mecánica de Fluidos*. Recuperado el Mayo de 2014, de Régimen Laminar y Turbulento:  
<http://rabfis15.uco.es/MecFluidos/1024/Untitled-30.htm>
- Crouse, W. H. (1998). *Mecanica del Automovil*. Barcelona: Mc Graw Hill.
- Funes, C. A. (2011). *DISEÑO DE MOTORES PARA COMPETICIÓN*. BUENOS AIRES.
- GTZ. (1985). *Tecnología del automóvil*. Barcelona: REVERTÉ, S. A.
- Guillieri, S. (2006). *Preparacion de motores de serie*. Barcelona: Ceac.
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo.
- Mott, R. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. Naucapan de Juarez: Pearson.
- Munson, B. R., & Young, D. F. (1999). *FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS*. México, D.F.: Limusa.
- Passaniti, J. (2008). *Manual Técnicas de competición*. Buenos Aires: Ediciones técnicas RT.
- Shames, I. H. (1995). *Mecánica de Fluidos*. Santa Fé de Bogota: MCGRAW-HILL.
- Simón Fygueroa, J. S. (2008). *Caracterización del flujo de admisión en un motor*. Bogota: Univ de Bogota.

Vicente, M. d. (2004). *Trucaje de motores de 4 tiempos*. Argentina:  
Fullware.