

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Facultad de Ingeniería Automotriz

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ

Diseño y Construcción de un Flujómetro para Cabezotes

Alexis Esteban Aristizabal Rivadeneira
David Alberto Cisneros Mendieta

Director: Ing. Juan Fernando Iñiguez
2010
Quito, Ecuador

CERTIFICACIÓN

Nosotros, Alexis Esteban Aristizábal Rivadeneira y David Alberto Cisneros Mendieta, declaramos que somos el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal nuestra. Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la presente investigación serán de nuestra exclusiva responsabilidad

Alexis Esteban Aristizábal Rivadeneira

1714487962

David Alberto Cisneros Mendieta

1713423430

Yo, Juan Fernando Iñiguez, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, a los señores, Alexis Esteban Aristizábal Rivadeneira y David Alberto Cisneros Mendieta, son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal suya.

Ing. Juan Fernando Iñiguez

Director

AGRADECIMIENTO

A Dios, sin cuya inspiración poco puede lograr el ser humano

A la Facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, por permitirnos complementar nuestra carrera profesional.

Al Ing. Juan Fernando Iñiguez, Director de Tesis, un maestro de alto nivel, quien en forma didáctica compartió sus conocimientos, supo motivarnos y orientarnos hasta la culminación del proyecto.

A nuestras familias, a quienes agradecemos de todo corazón por su amor, su cariño y comprensión. Por el enorme estímulo que día a día nos han brindado para que cristalicen los objetivos propuestos.

DEDICATORIA

Nuestra tesis la dedicamos con todo amor y cariño.

A ti Dios que nos diste la oportunidad de vivir y de regalarnos una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a nuestros padres que nos dieron la vida y que han estado junto a nosotros en todo momento. Gracias amados padres por habernos dado una carrera que nos ayudará para nuestro futuro y sobre todo por creer en nosotros, en momentos difíciles siempre han estado apoyándonos y brindándonos todo su amor, por todo esto les agradecemos de todo corazón el que estén junto a nosotros en este hermoso momento.

A nuestros profesores por confiar en nosotros, por toda la paciencia, por apoyarnos, por sabernos guiar y por brindarnos su amistad, ya que más que profesores han sido unos grandes y maravillosos amigos, por lo que jamás los olvidaremos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	VI
ÍNDICE DE ECUACIONES	VII
ÍNDICE DE CUADROS	VII
SÍNTESIS.....	VIII
ABSTRACT (SUMMARY).....	X
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 LA CULATA	2
1.1.1 Formas de la Culata	3
1.1.2 Materiales de Construcción de la Culata	4
1.1.3 Fabricación de la Culata.....	4
1.1.4 Tipos de Cámaras de Compresión	5
1.1.4.1 Cámara Hemisférica.....	6
1.1.4.2 Cámara de Bulbo	6
1.1.4.3 Cámara en el Émbolo.....	7
1.1.4.4 Cámara de Cuña	8
1.1.5 Formas más convenientes de la Cámara de Compresión.....	8
1.2 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE COMPRESIÓN.....	9
1.2.1 Relación de Compresión	10
1.2.2 Elevación de la Compresión.....	11
1.2.2.1 Ventajas de la Elevación de la Compresión	11
1.2.2.2 Desventajas de la Elevación de la Compresión	12
1.3 COLECTORES.....	12
1.3.1 Colector de admisión.....	13
1.3.1.1 Colector Variable de Admisión	14
1.3.2 Colector de escape.....	14
1.4 JUNTA DE LA CULATA	16

1.5	VÁLVULAS	16
1.5.1	Resortes de Válvulas.....	18
1.5.2	Guías de Válvulas	19
1.6	CUADRO DE MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DE GUÍAS DE VÁLVULAS	20
1.7	ÁRBOL DE LEVAS	21
CAPÍTULO II		24
2	TIPOS DE FLUJÓMETROS	24
2.1	MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE DE HILO CALIENTE	25
2.1.1	“Despiece de un Caudalímetro de hilo caliente”	26
2.2	MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE DE LÁMINA CALIENTE	27
2.3	MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE DEL SISTEMA “KARMAN VORTEX” ...	27
2.4	MEDIDOR DE DEPRESIÓN DE AIRE ASPIRADO	30
2.5	INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE VELOCIDADES DE FLUJO DE AIRE.....	32
2.5.1	Tubo Pitot	32
2.5.2	Tubo de Prandtl	33
2.5.2.1	Dimensionamiento Normalizado del Tubo de Prandtl	37
2.5.2.2	Tipos de Cabezas de Tubos de Prandtl	38
a.	Cabeza Semiesférica (1)	38
b.	Cabeza Semiesférica (2)	39
c.	Cabeza Cónica	40
d.	Cabeza Elipsoidal	40
e.	Forma Aerodinámica	41
f.	Forma Interior Elaborada	41
2.5.3.1	Anemómetro de Eje Vertical.....	42
2.5.3.2	Anemómetro de eje horizontal.	43
CAPÍTULO III		44
3.	MECÁNICA DE FLUIDOS	44
3.1	Descripciones lagrangiana y euleriana del movimiento de un fluido..	44
3.2	Principio de Bernoulli	45
3.3	Fluido Newtoniano	47
3.4	Fluido No Newtoniano.....	47
3.5	Tipos de Flujo	48
3.5.1	Flujo Compresible.....	49

3.5.2	Flujo Incompresible	50
3.6	Flujometría.....	51
3.6.1	Flujo Laminar.....	53
3.6.2	Flujo Turbulento.....	54
3.6.2.1	Régimen turbulento liso.....	55
3.6.2.2	Régimen turbulento de transición.....	55
3.6.2.3	Régimen turbulento rugoso	56
3.7	Número de Reynolds.....	56
3.7.1	Número de Reynolds en flujo laminar.....	59
3.7.2	Número de Reynolds en flujo turbulento	60
3.8	Ecuación de continuidad	60
CAPÍTULO IV.....		62
4.	TRABAJOS DE TRUCAJE EN CULATA	62
4.1.	Trabajos en las Toberas de Admisión	62
4.1.1	Tipos de piedras abrasivas	63
4.1.2	Fase 1 (Elevación)	67
4.1.3	Fase 2 (Acumulación o Reposo).....	67
4.1.4	Fase 3 (Expulsación)	67
4.2.	Eficiencia Volumétrica.....	73
4.3.	Fuentes de pérdida de carga.....	74
4.4	Trabajos en Asientos de Válvulas	76
4.5	Trabajos en Válvulas.....	77
4.6	Trabajos en Pasaje de Gases	78
4.7	Trabajos en el Eje de Levas.....	79
4.7.1	Como obtener el nombre de un árbol de levas	80
4.8.	Trabajos en Guías de Válvula.....	80
4.9.	Trabajos en las cámaras de combustión	81
4.10	Refuerzo de los pernos de culata	84
4.11	Velocidad de Gases	85
4.12	Trabajos en las Toberas de Escape.....	89
CAPÍTULO V.....		91
5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA	91

5.1	Análisis de los Costos	91
5.1.1	Análisis del Costo de Materiales.....	92
5.1.2	Análisis del Costo de Mano de Obra	93
5.1.3.	Análisis de la inversión	93
CAPÍTULO VI.....	94	
6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL FLUJÓMETRO DE CULATAS	94	
6.1. Diseño del Tubo de Prandtl	95	
6.1.1.	Diseño de la Cabeza del tubo de Prandtl.....	96
6.1.2.	Construcción de manómetros diferenciales	97
6.2. Construcción de acoples y tubos	98	
6.2.1.	Acoples para aire de entrada.....	98
6.2.2.	Tubo de recolección de aire a la salida de la tobera de admisión	99
6.3 Compresor eléctrico de aire	99	
6.4. Construcción del soporte para el flujómetro de culatas.....	100	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102	
CONCLUSIONES	102	
RECOMENDACIONES	103	
GLOSARIO	104	
BIBLIOGRAFÍA	107	
ANEXOS	108	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1	Corte de Cabezote de un Motor	1
Figura 1. 2	Montaje de una Culata en el Bloque del Motor	2
Figura 1. 3	Cabezote o Culata de Motor	3
Figura 1. 4	Formas de Cabezotes	3
Figura 1. 5	Tipos de Cámaras de Compresión.....	5
Figura 1. 6	Cámara Hemisférica.....	6
Figura 1. 7	Cámara de Bulbo	6
Figura 1. 8	Cámara en el Émbolo.....	7
Figura 1. 9	Cámara de Cuña	8
Figura 1. 10	Medición de Cámara de Combustión	9
Figura 1. 11	Colectores de Admisión	13

Figura 1. 12 Colector de Admisión Variable	14
Figura 1. 13 Colector de Escape.....	15
Figura 1. 14 Junta de Culata (amianto)	16
Figura 1. 15 Partes del Conjunto Valvular	17
Figura 1. 16 Resortes de Válvulas	18
Figura 1. 17 Ensamblaje Valvular.....	19
Figura 1. 18 Guías de Válvulas	19
Figura 1. 19 Conjunto de Distribución	21
Figura 1. 20 Sistema VVTi.....	23

CAPÍTULO II

Figura 2. 1 Sensor Hilo Caliente.....	24
Figura 2. 2 Sensor Hilo Caliente.....	25
Figura 2. 3 Despiece de un Caudalímetro	26
Figura 2. 4 Medidor de Flujo de Lámina Caliente.....	27
Figura 2. 5 Esquema del sistema “Karman Vortex	28
Figura 2. 6 Sistema de inyección electrónica de gasolina.....	29
Figura 2. 8 Funcionamiento Sensor MAP.....	31
Figura 2. 9 Tubo Pitot.....	33
Figura 2. 10 Tubo Prandtl.....	34
Figura 2. 11 Tubo Prandtl.....	38
Figura 2. 12 Cabeza Semiesferica 1	39
Figura 2. 13 Cabeza Semiesferica 2	39
Figura 2. 14 Cabeza Cónica.....	40
Figura 2. 15 Cabeza Elipsoidal.....	40
Figura 2. 16 Cabeza Aerodinámica	41
Figura 2. 17 Forma Interior Elaborada	41
Figura 2. 18 Anemómetro de Eje Vertical.....	42
Figura 2. 19 Anemómetro de eje horizontal.....	43

CAPÍTULO III

Figura 3. 1 Principio de Bernoulli.....	46
Figura 3. 2 Fluidos Newtonianos	47
Figura 3. 3 Fluidos No Newtonianos	48
Figura 3. 4 Flujo Compresible	49
Figura 3. 5 Flujo Incompresible - Principio de Pascal.....	51
Figura 3. 6 Flujo Laminar y Flujo Turbulento	51
Figura 3. 7 Trayectoria Líneas de Corriente Flujo Laminar	52
Figura 3. 8 Flujo Laminar	53
Figura 3. 9 Perfil Laminar y Turbulento	54
Figura 3. 10 Flujo turbulento.....	55
Figura 3. 11 Flujo Turbulento	57
Figura 3. 12 Perfiles de Flujo Laminar y Turbuento.....	60
Figura 3. 13 Principio de Continuidad	61

CAPÍTULO IV

Figura 4. 1 Ducto de Admision	68
-------------------------------------	----

Figura 4. 2 Flujo de Aire en Tubo Venturi.....	68
Figura 4. 3 Diagrama de Distribución	80
Figura 4. 4 Guías de Válvulas	81
Figura 4. 5 Cámara de Combustión	82
Figura 4. 6 Ángulos de Árbol de Levas Preparado.....	87
Figura 4. 7 Ángulos de Árbol de Levas Estándar	88

CAPÍTULO VI

Figura 6. 1 Velocidad de corriente.....	95
Figura 6. 2 Tubo Prandtl.....	96
Figura 6. 3 Soplador.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Características de Aleaciones de Aluminio y Hierro Fundido	4
Tabla 1.2 Materiales Características Guías de Válvulas	20

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Valores propiedades de fluidos	44
--	----

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Tipos de Piedras Abrasivas.....	63
Tabla 4.2 Prueba de Flujo	65
Tabla 4.3 Orden de Encendido Motor 4 Tiempos.....	86
Tabla 4.4 Orden de Encendido Motor 3 Cilindros.....	87

CAPÍTULO V

Tabla 5.1 Tabla Costos Materiales.....	92
Tabla 5.2 Tabla Costos Mano de Obra	93

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO VI

Fotografía 6.1 Tubo Prandtl.....	96
Fotografía 6.2 Tubo Prandtl.....	97
Fotografía 6.3 Manómetros Diferenciales	97
Fotografía 6.4 Escala Manómetro Diferencial	98
Fotografía 6.5 Banco de Pruebas.....	99
Fotografía 6.6 Banco de Pruebas.....	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO I

Ecuación 1.1 Volumen de la Cámara	9
Ecuación 1.2 Relación de Compresión	10

CAPÍTULO II

Ecuación 2.1 Presión Estacionaria	32
Ecuación 2.2 Presión en el Punto 1	35
Ecuación 2.3 Diferencia de Presiones	36
Ecuación 2.4 Fundamental de la Hidrostática	36
Ecuación 2.5 Presión dinámica teórica del tubo de Prandtl.	36
Ecuación 2.6 Velocidad de Corriente	36
Ecuación 2.7 Velocidad de corriente con coeficiente	37

CAPÍTULO III

Ecuación 3.1 Teorema de Bernoulli	47
Ecuación 3.2 Número de Reynolds	56
Ecuación 3.3 Número de Reynolds	58
Ecuación 3.4 Numero de Reynolds en flujo laminar	59
Ecuación 3.5 De Continuidad	61

CAPÍTULO IV

Ecuación 4.1 Promedio Flujo de Aire en el Cilindro	72
Ecuación 4.2 Eficiencia Volumétrica	73

CAPÍTULO VI

Ecuación 6.1 Velocidad de corriente	94
---	----

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO III

Cuadro 3. 1 Mecánica de Fluidos	48
---------------------------------------	----

SÍNTESIS

Para la preparación de vehículos de competencia, las pruebas en la ruta o en pista sin lugar a dudas marcan los resultados reales de un trabajo realizado. Sin embargo, no se debe olvidar que en realidad los bancos de pruebas y equipos permiten cuantificar y dimensionar los trabajos de potenciación que se realice a los motores de competencia. La información que se puede recolectar de los bancos permitirá comprender qué pasos del trabajo se ejecutaron exitosamente o en que se cometió errores.

Una parte del motor donde se puede trabajar para obtener un mayor rendimiento es la culata y para ello se deben considerar muchas variables. En este proyecto se abordará lo concerniente al diseño y construcción de un flujómetro de culata que permita medir los resultados del trabajo en las toberas de admisión y escape para mejoramiento del caudal de aire dentro del cilindro y expulsión de gases. Para lograrlo, se analizará mediante cálculos la mejor forma de obtener una gran masa de aire, una velocidad de entrada de aire alta, así como también una evacuación de gases muy rápida, con lo que se conseguirá que el motor respire adecuadamente incluso a altos regímenes.

Este proyecto será aplicable en escenarios reales, ya que se ha encontrado que los técnicos automotrices preparan sus motores de una manera artesanal, siendo indispensable que conozcan sobre la importancia de la utilidad de este mecanismo de control, tanto a nivel académico en las facultades de ingeniería mecánica automotriz, así como también, para los mecánicos en general.

Un flujómetro de Cabezotes para el taller de la Facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador ayudará de manera significativa en las prácticas de los distintos temas a tratarse en las diferentes materias a lo largo de la carrera universitaria, tales como: Trucaje de Motores, Motores de Combustión Interna, Rectificación de Motores, entre otras, siendo un instrumento muy útil para la comparación, medición y cálculos, los mismos que serán aprovechados en el estudio y entendimiento de las funciones y mecanismos de un motor.

Se realizará una demostración del equipo, que permitirá entregar datos de valores reales los cuales en la práctica se compararán con los datos estándar emitidos en fábrica, y de esta manera demostrar su eficiencia una vez analizados dichos datos, a través de estadísticas que pueden estar sujetas a comprobación.

El desarrollo de este proyecto es factible, ya que según los estudios preliminares, dan como resultado la posible implementación y construcción de este comprobador, sin dejar a un lado las características principales de las que depende el desempeño de esta herramienta para que sea confiable.

ABSTRACT (SUMMARY)

In order to prepare a competition vehicle, the actual results of a performed work are doubtless determined by tests taking place into the road and track. However, it should not be forgotten that test rigs let to quantify and measure the work done on a competition engine about power feature. The information obtained from such equipment will enable us to understand which steps of the work were successfully performed or in which ones there were mistakes.

A cylinder head is a motor piece where it is possible to work in order to improve performance and there are many variables to take into consideration when such work is being executed. The design and build of a cylinder head flowmeter is discussed in this project. It will allow measuring of the results generated from the work performed by the intake and exhaust nozzles, which will show a way to improve the air flow and gas ejection. In order to achieve this goal, it will be analyzed by means of computations the best way to get a great air mass and reach a high air thrust speed as well as high gas ejection speed, which will let the engine to breath adequately even at the highest conditions of work.

The results of this project will be applicable in real scenarios, because it was found that automotive technicians prepare engines in a craft manner, which makes essential that they know about how important is to take into account this control mechanism. As well as the mentioned automotive technicians, it is useful that this information also be accessible by students in automotive mechanical engineering faculties.

A cylinder head flowmeter for the International University Automotive Mechanical Faculty lab will support the activities related to several topics that are discussed in the career's subjects, such as: Engine Overhaul, Internal Combustion Engines, Engine Correction, among others, being a useful tool to do comparisons, computations and measures. These features will be meaningful to study and understand engine capabilities and functions.

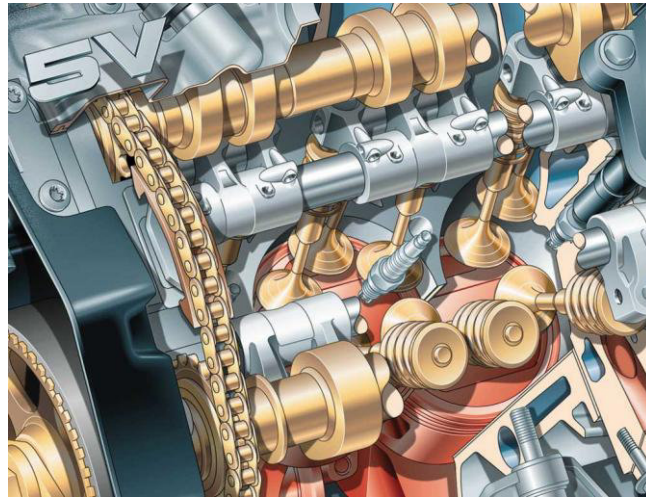
It will be executed a demonstration in which the values generated by the tool will be compared to provider standard data. Thus, with this comparison it will be possible to verify its performance as soon as the information is analyzed, by means of statistics that may require to be checked.

The project development is feasible, because the previous investigation tasks gave results that showed how the tool implementation may be executed while optimizing time and resources, without disregard of the main features that this tool must implement in order to be reliable.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Figura 1. 1 Corte de Cabezote de un Motor



La Culata es una de las partes primordiales de un motor de combustión interna ya que en ella se ensambla el sistema de distribución compuesto de otros mecanismos como válvulas, resortes de válvulas o árboles de levas y cadena o banda de distribución (figura 1.1). En algunos modelos de vehículos también está el distribuidor, y en otros modelos de vehículos encontramos dispositivos variables de válvulas como por ejemplo: VVTi de Toyota, Vanos en BMW, VTEC en Honda, entre otros. Además en vehículos de nueva generación están instalados sensores de velocidad y posición del árbol de levas para sistemas DIS (sin distribuidor) con lo que el orden de encendido se lo controla mediante una unidad de procesamiento de datos (ECM).

1.1 LA CULATA

Figura 1. 2 Montaje de una Culata en el Bloque del Motor



Está ubicada como tapa de cilindros sobre o en la parte lateral del bloque del motor (figura 1.2), la cual provee en la mayoría de los motores de una cámara de compresión, donde los gases de admisión serán comprimidos por el pistón en su carrera desde el punto muerto inferior (P.M.I) hasta el punto muerto superior (P.M.S). La culata también facilita el control del aire aspirado y de los gases de combustión expulsados mediante la apertura y cierre de las válvulas los mismos que son accionados por el árbol de levas.

El rendimiento volumétrico del motor estará sujeto al caudal de aire que pueda ingresar a la cámara de compresión o al cilindro.

1.1.1 Formas de la Culata

Figura 1. 3 Cabezote o Culata de Motor



La culata adopta formas muy complejas (figura 1.3) debido a que tiene que crear una cámara para la compresión del aire admitido, además debe brindar “estanqueidad” a los cilindros y soportar los distintos mecanismos para el control de apertura y cierre de las válvulas, así como también soporta al sistema de inyección de combustible y las bujías y los respectivos conductos de salida y entrada de gases.

Figura 1. 4 Formas de Cabezotes



Otra de las características de la culata es que debe tener los orificios o conductos para permitir la circulación de líquido refrigerante (Figura 1.4).

La culata se fabrica de hierro fundido o de aleaciones ligeras mediante el moldeo, la superficie de asentamiento se rectifica para lograr que quede completamente plana para lograr que la unión entre culata y bloque de cilindros se totalmente hermética.

1.1.2 Materiales de Construcción de la Culata

La culata está diseñada para soportar temperaturas y presiones altas, prácticamente debe poseer alta resistencia mecánica y alta rigidez para soportar las presiones generadas en su interior. Las aleaciones de aluminio y el hierro fundido son los materiales más usados para dicha demanda.

Tabla 1.1 Características de Aleaciones de Aluminio¹

MATERIAL	TIPO	CARACTERÍSTICAS
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

1.1.3 Fabricación de la Culata

Para la fabricación de la culata se emplea el sistema “cosworth” que utiliza el nombre de arena de circón para la fundición, a fin de dar su forma. Al fundir el aluminio se genera una turbulencia que a su vez produce gases indeseables

¹ Manual Trucaje de Motores ESPE

que quedan atrapados aun cuando el material se ha enfriado produciendo burbujas, las mismas que crean puntos débiles en la estructura de la culata fundida.

El sistema cosworth reduce la turbulencia bombeando el aluminio fundido al molde, ya que las burbujas en este paso no se eliminan del todo, se procede al bombeo de gas inerte para generar una fuerza de atracción mayor entre las moléculas de aluminio, produciéndose así una pieza sólida estructuralmente, que luego será templada en cámaras a muy altas temperaturas.

1.1.4 Tipos de Cámaras de Compresión

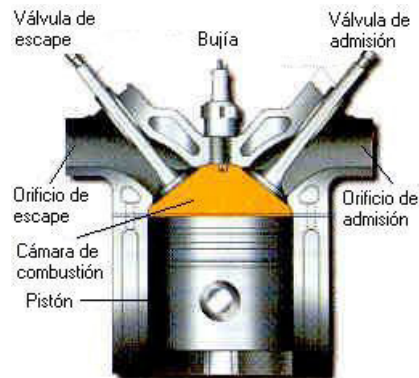
Cabe recordar que en la cámara de combustión o compresión se produce el proceso fundamental del motor, aquí se efectúa la compresión de la mezcla aire-combustible, para generar energía térmica que será transformada en energía mecánica mediante los componentes del motor. La cámara de combustión o compresión adopta varias formas dependiendo de la configuración que pueda tener el motor y los componentes del mismo.

Figura 1. 5 Tipos de Cámaras de Compresión



1.1.4.1 Cámara Hemisférica

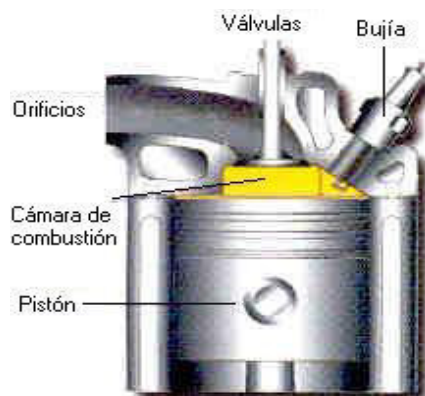
Figura 1. 6 Cámara Hemisférica



Este tipo de cámara de combustión es ideal, ya que la bujía se encuentra en el centro de la cámara por lo que la propagación de la chispa es igual en todas direcciones, de tal manera se consigue un optimo rendimiento. También se puede montar un mayor número de válvulas ya que se cuenta con suficiente espacio para ello.

1.1.4.2 Cámara de Bulbo

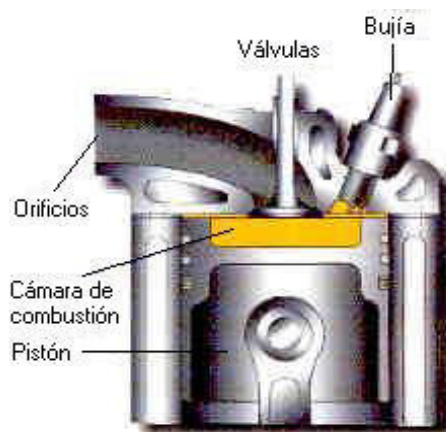
Figura 1. 7 Cámara de Bulbo



Las válvulas están ubicadas paralelamente y perpendiculares con respecto a la superficie de asentamiento de la culata. La bujía se coloca lateralmente y se puede lograr que quede centrada. Debido al poco espacio disponible el diámetro de las válvulas es pequeño por lo que este tipo de configuración se utiliza en motores de vehículos utilitarios; su construcción resulta más económica.

1.1.4.3 Cámara en el Émbolo

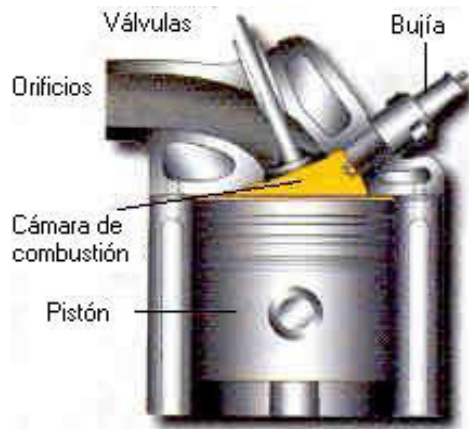
Figura 1. 8 Cámara en el Émbolo



La cámara de combustión se encuentra en el émbolo asemejándose a la cámara hemisférica, debido a su eficiencia se utiliza en vehículos de altas prestaciones.

1.1.4.4 Cámara de Cuña

Figura 1. 9 Cámara de Cuña



Acumula toda la mezcla aire combustible cerca de la bujía produciéndose así la disminución de autodetonación, lamentablemente en este tipo de cámara el espacio es limitado, por ende el diámetro de la cabeza de la válvula será pequeño.

1.1.5 Formas más convenientes de la Cámara de Compresión.

La cámara más idónea es la cámara hemisférica debido a que por su forma amplia, nos permite colocar válvulas más grandes o un número mayor de válvulas; en contraposición con otras formas, esta cámara produce una turbulencia óptima para que la mezcla aire-combustible sea homogénea, además de colaborar con la refrigeración, nos permite colocar la bujía en el centro de la cámara, lo que facilita que la propagación de la llama sea igual en todas direcciones y así evitar auto-detonación o focos de detonación.

1.2 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE COMPRESIÓN

Figura 1. 10 Medición de Cámara de



El volumen de la cámara de compresión puede ser medida colocando aceite hasta llenar la cámara completamente (figura 1.10), con las válvulas herméticamente cerradas, y el líquido deberá ser graduado. Otra forma de obtener este volumen se basa en la siguiente ecuación:

Ecuación 1.1 Volumen de la Cámara

$$V_k = \frac{V_c}{E - 1}$$

En donde V_c es el volumen del cilindro y E es la relación de compresión.

1.2.1 Relación de Compresión

La relación de compresión de los vehículos está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 1.2 Relación de Compresión

$$Rc = \frac{Vc + Vk}{Vk}$$

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

En los vehículos de gasolina esta relación varía entre 8:1 a 11:1 en motores de serie y hasta 12:1, para vehículos de competición donde se debe utilizar gasolina de mayor octanaje (sobre los 90 octanos) para evitar autodetonación y pérdidas de potencia.

En motores diesel la reacción de compresión será mayor debido a que el tipo de combustible es encendido por altas presiones y no por un sistema de encendido con bujía como en los motores a gasolina, por lo que dicha relación estará en el orden de 15:1 hasta 22:1.

Ejemplo: El motor de un vehículo tiene como cilindrada 1600 cc y su número de cilindros es de 4, se ha medido el volumen de la cámara de combustión en 42 cc. A continuación se calculará su relación de compresión.

$$V_c = \frac{1600}{4}$$

$$V_c = 400$$

$$R_c = \frac{400 + 42}{42}$$

$$R_c = 10,5$$

Rc = 10,5:1 Relación de Compresión.

1.2.2 Elevación de la Compresión

La relación de compresión se puede aumentar de dos formas, una de ellas es rectificar el asentamiento de la culata con el block sin sobrepasar 1mm. de la medida estándar de la culata, y, la otra, es aumentando el diámetro del bulón lo que podremos calcular con la fórmula de relación de compresión que observamos en la ecuación 1.2; la relación de compresión no debe sobrepasar de 11:1, caso contrario tendremos problemas de autoencendido por el bajo octanaje del combustible o gasolina que se comercializa comúnmente en nuestro país, o en su defecto tendríamos que recurrir a gasolinas de mejor calidad y alto octanaje como la que se usa en aviación (bencina-nafta).

1.2.2.1 Ventajas de la Elevación de la Compresión

Las ventajas que podemos citar son, en primer lugar, el aumento de potencia y torque del motor, la combustión tendrá un coeficiente térmico alto lo que significa mayor aprovechamiento del combustible. La ventaja práctica estará reflejada en mejores prestaciones del vehículo.

1.2.2.2 Desventajas de la Elevación de la Compresión

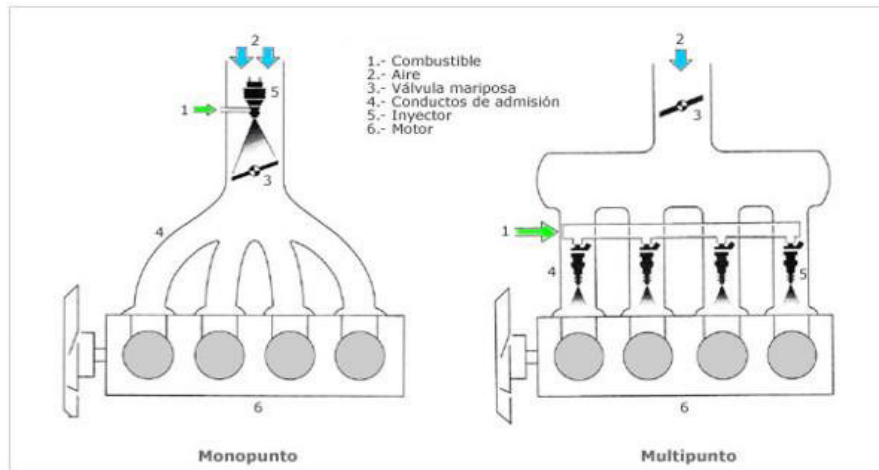
Si el índice de relación de compresión se eleva demasiado tendremos problemas de autodetonación y, por consiguiente, la temperatura del motor no podrá ser controlada por el sistema de refrigeración propio del vehículo, produciendo el recalentamiento y deterioro prematuro del motor. Para controlar estos problemas se tendrá que emplear tiempo y dinero y tal vez el resultado final nunca llegue a ser del todo bueno; otra opción sería utilizar combustible de óptima calidad (mayor octanaje) para evitar estos problemas, si todavía el índice de compresión no ha sobrepasado de 11.5 a 1.

1.3 COLECTORES

Los colectores son tubos que permiten el ingreso de aire y la expulsión de los gases quemados luego de la combustión; en algunos modelos están ubicados al mismo lado en la culata para favorecer el calentamiento del colector de admisión que ayudará a la evaporación del combustible, en modelos recientes los colectores están uno a cada lado o extremos frontal y posterior de la culata.

1.3.1 Colector de admisión

Figura 1. 11 Colectores de Admisión

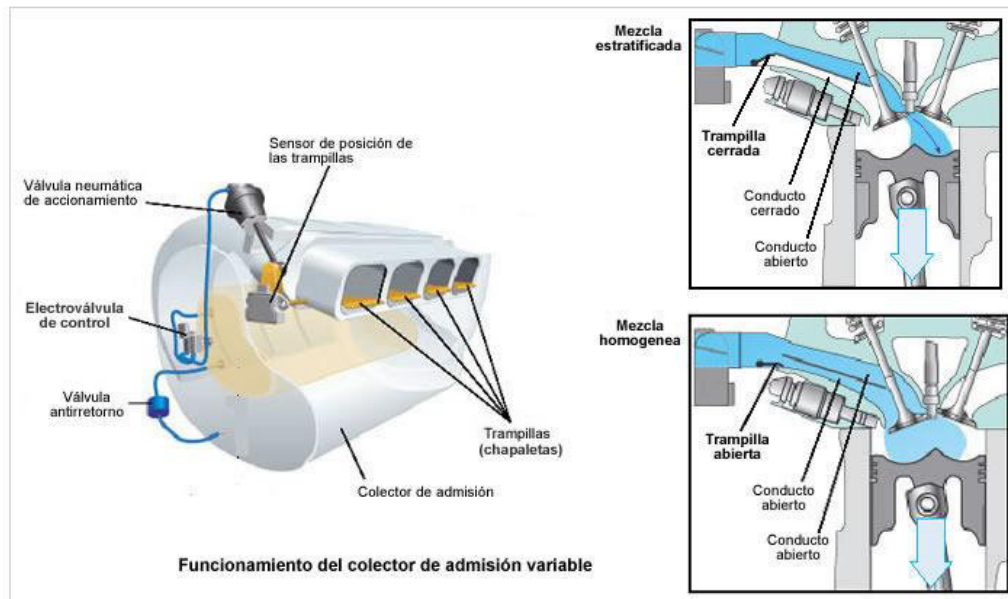


Permite la entrada así como también el direccionamiento del aire requerido por el motor (figura 1.11), se encuentra adosada a la culata mediante pernos y entre estos una junta que ayuda con la estanqueidad y posee las mismas características de la junta de la culata.

El colector de admisión se construye por moldeo de aleaciones ligeras, hierro fundido en otros casos y, actualmente, se fabrican a base de polímeros reduciendo los pesos muertos del vehículo. Necesita de un depurador de aire para evitar que las partículas de polvo entren a la cámara de combustión.

1.3.1.1 Colector Variable de Admisión

Figura 1. 12 Colector de Admisión Variable



El colector variable de admisión (figura 1.12) permite la variabilidad de las dimensiones del conducto de admisión tanto a bajo como a alto régimen del motor. Es decir, que este colector permite cambiar la distancia que el aire debe recorrer para llegar a la cámara de combustión, de esta manera se adquiere un control del paso de aire a cualquier régimen del motor.

1.3.2 Colector de escape

Permite la salida y direccionamiento de los gases de escape (figura 1.13), construido del moldeo de hierro fundido, puede resistir las altas temperaturas a la que se encuentra expuesta por el contacto con los gases producidos en la cámara de compresión después de la combustión de la mezcla aire combustible. Para evitar las interferencias de la salida de gases de escape en motores de alto rendimiento, se utiliza un tubo individual para cada uno de los

cilindros los mismos que van conectados a silenciadores; debido a las normativas de contaminación, en modelos de vehículos modernos luego del múltiple de escape vienen colocados sensores de oxígeno y catalizadores para los gases de escape, a fin de evitar la contaminación ambiental.

Figura 1. 13 Colector de Escape.



1.4 JUNTA DE LA CULATA

Figura 1. 14 Junta de Culata (amianto)



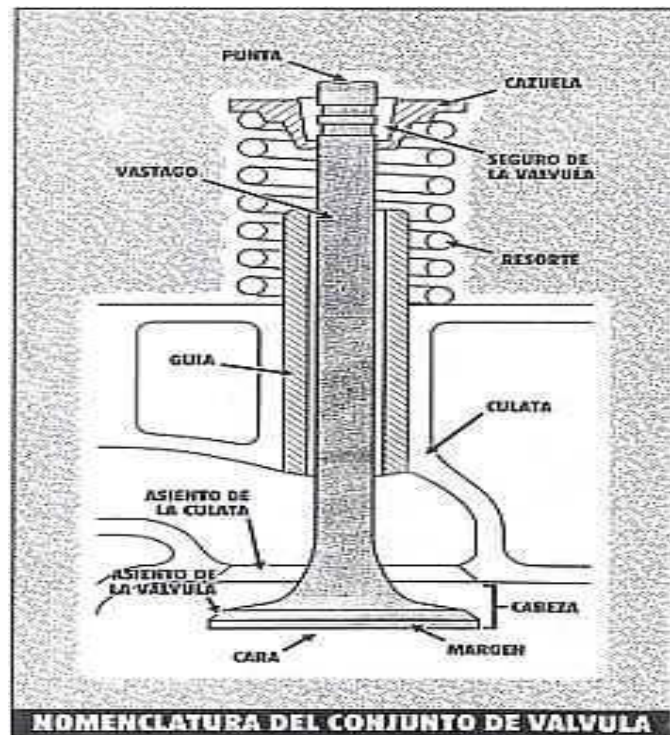
Este elemento (figura 1.14), pretende lograr una estanqueidad entre la culata y el bloque de cilindros, evitando que los gases dentro de la cámara de combustión tengan contacto con la atmósfera y se pierda potencia del motor y además evita que los fluidos como aceite y refrigerante se lleguen a mezclar, es por esto que cuando se pierde la planitud de la culata por recalentamiento tendremos este tipo de problemas, por lo que se necesita volver a rectificar la superficie.

1.5 VÁLVULAS

Las válvulas permiten la entrada de aire fresco hacia la cámara de combustión y la evacuación de los gases quemados luego de la combustión, además de cerrar herméticamente los conductos para los ciclos de compresión y combustión, para lograrlo deben estar comandadas por un árbol o eje de levas, que le dé a la válvula la apertura y cierre oportunos para cada ciclo del motor.

Las válvulas están compuestas de un vástago, cara, cabeza, asientos de la válvula como se muestra en la figura 1.15.

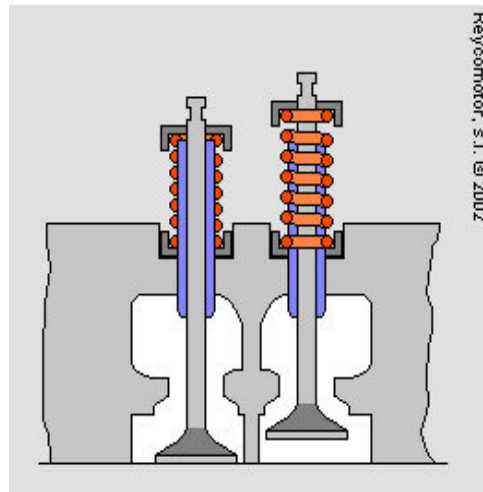
Figura 1. 15 Partes del Conjunto Valvular



Estructuralmente deben soportar altos esfuerzos mecánicos y temperatura, por lo que su construcción se basa en hierro cementado con aleaciones como el sodio que le permiten resistir la corrosión y disipar rápidamente las temperaturas, en el caso de las válvulas de escape la refrigeración se logra por la transferencia de calor de la válvula hacia el asiento ubicado en el cabezote; y la refrigeración de las válvulas de admisión se logra por el aire fresco que ingresa en el tiempo de admisión. Las válvulas de escape son de un 20% a 40% más pequeñas que las de admisión debido a que resulta más complicado alimentar al motor de aire fresco que expulsar los gases quemados.

1.5.1 Resortes de Válvulas

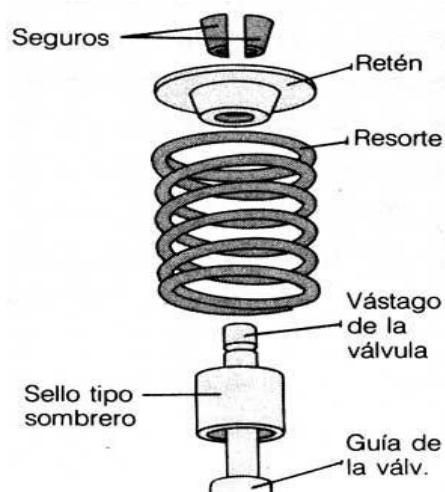
Figura 1. 16 Resortes de Válvulas



Su misión es la de lograr el cierre hermético y rápido de las válvulas mediante la tensión de los resortes (figura 1.16). Se fabrican de acero aleado con silicio-magnesio, lo que le da un amplio espectro de resonancia, que es el efecto de acordeón que se genera al expandirse o contraerse; las espiras al contraerse lo hacen de los extremos hacia el interior y en el caso de la expansión lo hacen desde su interior, por lo que su diseño debe tener las espiras más cercanas en los extremos del muelle. Algunos modelos de vehículos utilizan dos resortes por cada válvula, cada uno de ellos con diferentes espectros de resonancia para hacer más eficaz el cierre de la válvula a altas revoluciones del motor.

El resorte de la válvula va montado como se muestra en la figura 1.17.

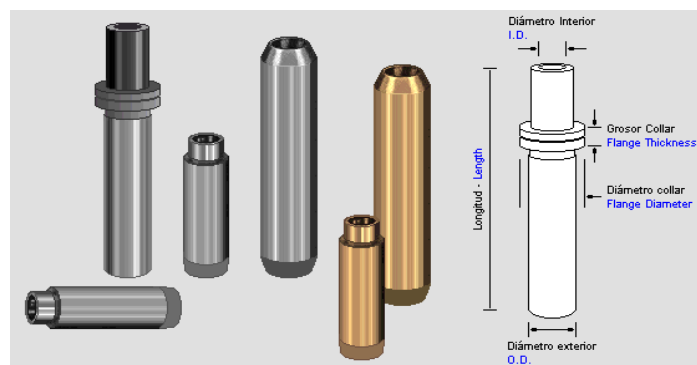
Figura 1. 17 Ensamblaje Valvular



1.5.2 Guías de Válvulas

Las guías de válvulas van alojadas en la culata a presión, permitiendo el movimiento longitudinal de la válvula y evitando movimientos laterales para lograr un acoplamiento correcto del asiento de la válvula, también logra disipar el calor de la válvula hacia el cabezote.

Figura 1. 18 Guías de Válvulas



Las guías de válvulas están construidas de materiales resistentes al roce, con gran conductibilidad térmica y auto-lubricantes como fundición gris con estructura perlítica y aleaciones especiales.

1.6 CUADRO DE MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS DE GUÍAS DE VÁLVULAS

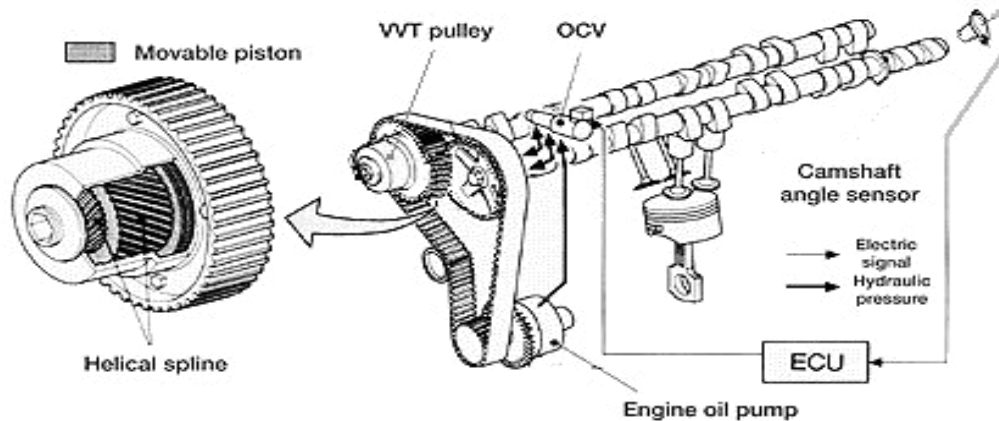
Tabla 1.2 Materiales Características²
Guías de Válvulas

MATERIALES	CARACTERÍSTICAS
Fundición gris de estructura perlítica.	Buena resistencia al desgaste, apto para guías sometidas a esfuerzos normales.
Fundición gris de estructura perlítica con alta concentración de fósforo.	La distribución reticular del fósforo en la estructura del material, incrementa notablemente la resistencia al desgaste, incluso en condiciones de escasa lubricación, gracias a su bajo coeficiente de rozamiento.
Fundición gris de estructura perlítica con alta concentración de fósforo y cromo.	Para la utilización en motores turbo sometidos a grandes esfuerzos.
Aleación CuZnAl.	Latón al aluminio. Este material presenta una buena resistencia al desgaste y buenas propiedades de deslizamiento (bajo coeficiente de rozamiento). Ideal para guías sometidas a esfuerzos normales o medios.
Aleación CuNiSi.	Esta aleación posee una alta capacidad de disipación de calor y una excelente resistencia al desgaste. Las guías fabricadas con éste material son ideales para motores sometidos a sobrecargas (variaciones de esfuerzos).

² Manual de Trucaje de Motores ESPE

1.7 ÁRBOL DE LEVAS

Figura 1. 19 Conjunto de Distribución



Para el control de apertura y cierre de las válvulas se dispone de un elemento denominado árbol o eje de levas, el cual a su vez está controlado por el giro del cigüeñal; cabe señalar que mientras el cigüeñal ha girado 2 veces, el árbol de levas ha girado 1 sola vuelta para permitir la sincronización de la distribución. Esta conexión de giro se realiza por medio de una correa dentada, mediante piñones o mediante una cadena de acero; para su instalación es preciso identificar los puntos de coincidencia de la sincronización para evitar el mal funcionamiento del motor.

El árbol de levas está construido de acero al carbón (moldeo en coquilla) con aleaciones de silicio, cromo, níquel, cobre, para lograr gran resistencia mecánica y térmica, después de ser mecanizado en máquinas especiales pasa a un proceso de templeado por flameado, una vez alcanzada la temperatura de temple se enfría rápidamente mediante aire, finalmente se rectifican las

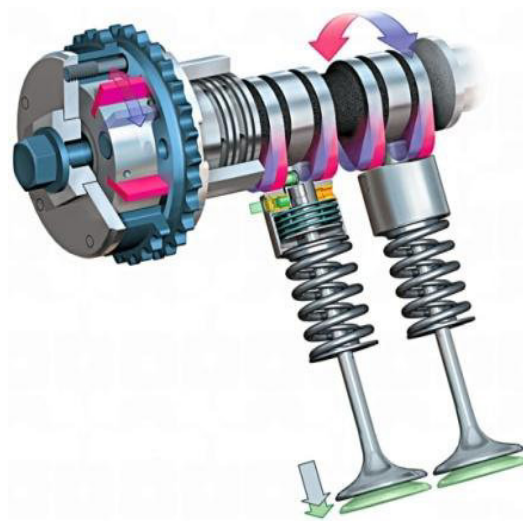
superficies de las zonas de rozamiento; las levas se labran en el árbol de levas de igual número al de las válvulas que posea el motor. Las levas están desplazadas para permitir el cierre y apertura en el momento idóneo para cada ciclo del motor. Las levas determinarán el tiempo de apertura de las válvulas y con esto se consigue un traslape (cruce de válvulas), el cual colabora con el barrido de los gases de escape.

Actualmente el mecanismo de accionamiento del árbol de levas se lo realiza mediante taqués hidráulicos o por pastillas que dan una calibración para el ataque de la leva, en otros sistemas el accionamiento se produce por un tren valvular en donde toma importancia un balancín que es el mecanismo de accionamiento de las válvulas, lo cual demanda un mayor número de componentes y un mayor espacio. Su eficiencia es mucho menor al sistema mencionado anteriormente.

El árbol de levas se fija en la culata con tapas colocadas en cada cojinete mediante pernos para que se pueda generar su movimiento rotativo. En modelos con distribuidor, el árbol de levas posee una rueda dentada para generar el giro del distribuidor que dará paso al orden de encendido; en sistemas sin distribuidor el control de la chispa se realiza electrónicamente por intermedio de la computadora del vehículo, otros fabricantes ubican en el eje de levas ruedas excéntricas, para permitir el funcionamiento de la bomba de combustible.

Actualmente encontramos distintos sistemas de distribución variable que permiten acoplar el cruce de válvulas para cualquier régimen del motor, de tal manera que la eficiencia se traduzca en menor consumo de combustible así como también prestaciones más altas de potencia y torque; contribuyendo también al medio ambiente al reducir considerablemente las emisiones de gases nocivos.

Figura 1. 20 Sistema VVTi



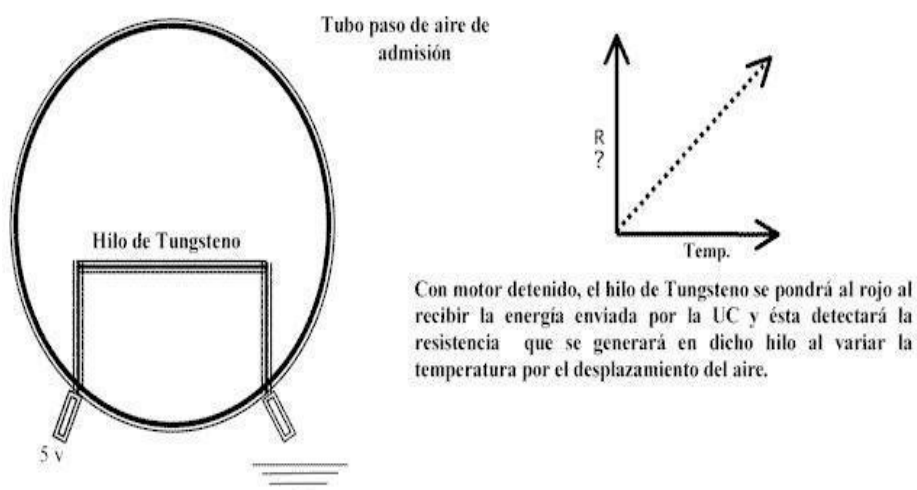
Al momento se cuenta con tres sistemas probados que son VVTi de Toyota (figura 1.20), Vanos en BMW y Vitec de Honda. Los 2 últimos aprovechan la presión del aceite para el desplazamiento del árbol de levas mediante una válvula controlada electrónicamente que generará el traslape para cada carga del motor, mientras que el sistema Toyota es mucho más compacto que sus competidores, con iguales o mejores prestaciones lo que le hacen al sistema muy fiable y fácil de instalar.

CAPÍTULO II

2 TIPOS DE FLUJÓMETROS

La evolución de la inyección electrónica ha llevado a que continuamente se mejore los sensores y actuadores del sistema; en cuanto se refiere a la medición de entrada de aire, se han creado diferentes sensores que se explican en el desarrollo de este capítulo.

Figura 2. 1 Sensor Hilo Caliente

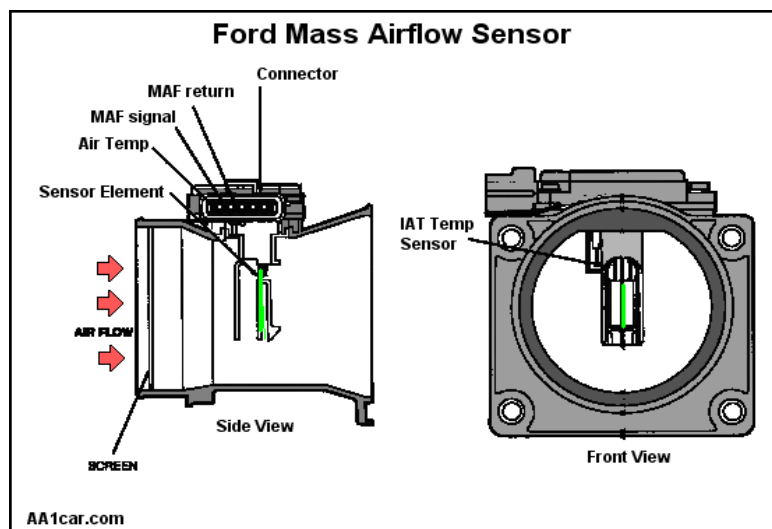


La medición del aire que ingresa a los cilindros por medio de un sensor es uno de los datos primordiales que el ordenador del vehículo debe tener para la dosificación del combustible por parte de los inyectores, para llegar a conseguir a cualquier carga del motor, la relación estequiométrica ideal de aire-combustible, es decir 14,7 partes de aire a 1 de combustible.

2.1 MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE DE HILO CALIENTE

Este medidor de la masa de aire que ingresa al motor, es una evolución del medidor del caudal de aire de otras generaciones. Está provisto de una caja tubular donde se encuentra un tubo de medición del diámetro más pequeño, una sonda térmica y un hilo de tungsteno (hilo-caliente); estos dos componentes forman parte de un circuito de puente que mantiene el hilo a una temperatura constante superior a la temperatura del aire medido. La corriente necesaria es directamente proporcional a la masa de aire, independientemente de su presión, su temperatura o su humedad. Se mide la corriente necesaria para mantener el hilo a una temperatura superior y ésta señal se envía a la computadora del vehículo; combinando ésta señal con una señal del régimen del motor, se calcula el volumen de inyección de combustible. La unidad de control puede modificar esta cantidad de inyección en base al estado de funcionamiento que indican los sensores adicionales.

Figura 2. 1 Sensor Hilo Caliente

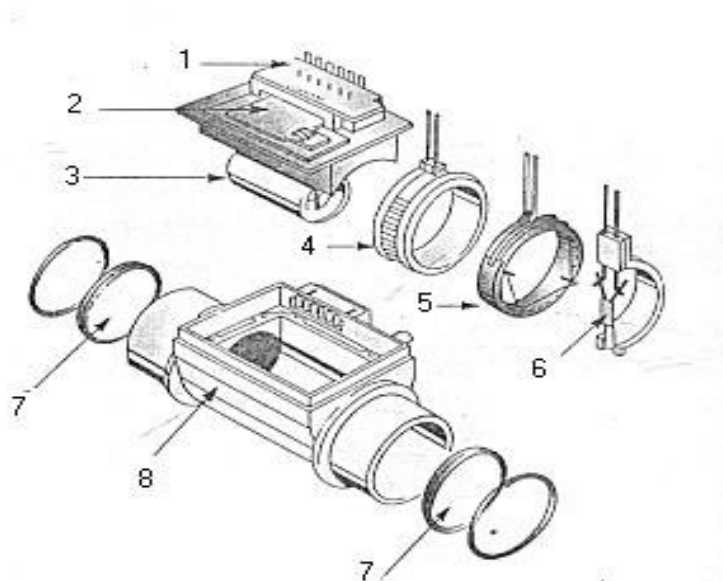


Dado que todo el aire que aspira el motor pasa por el medidor de masa de aire, una compensación automática corrige no sólo las variaciones de los estados de marcha, sino también los cambios debidos al desgaste del hilo caliente, la disminución de la eficacia del convertidor catalítico, depósitos de carbono y a las modificaciones en el ajuste de las válvulas.

2.1.1 "Despiece de un Caudalímetro de hilo caliente" ³

1. Conexiones eléctricas.
2. Circuito eléctrico de control.
3. Conducto.
4. Anillo.
5. Hilo Caliente.
6. Resistencia de compensación térmica.
7. Rejilla.
8. Cuerpo Principal.

Figura 2. 2 Despiece de un Caudalímetro



³ ALONSO J. M; Técnicas del Automóvil; Paraninfo; 2000

2.2 MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE DE LÁMINA CALIENTE

Está basado en el principio del medidor que se ha estudiado anteriormente. Se diferencia básicamente en que el hilo caliente es reemplazado por una lámina, que permite una medición más precisa ya que capta una mayor cantidad de aire sin que obstruya la entrada de aire hacia los cilindros.

Tanto este dispositivo como el de hilo caliente poseen una función de autolimpieza, cuando el motor está detenido o en su fase de calentamiento, permite alimentar eléctricamente al hilo o lámina para que se calienten y se deshagan de sedimentos de carbón, polvo, etc.

Figura 2. 3 Medidor de Flujo de Lámina Caliente

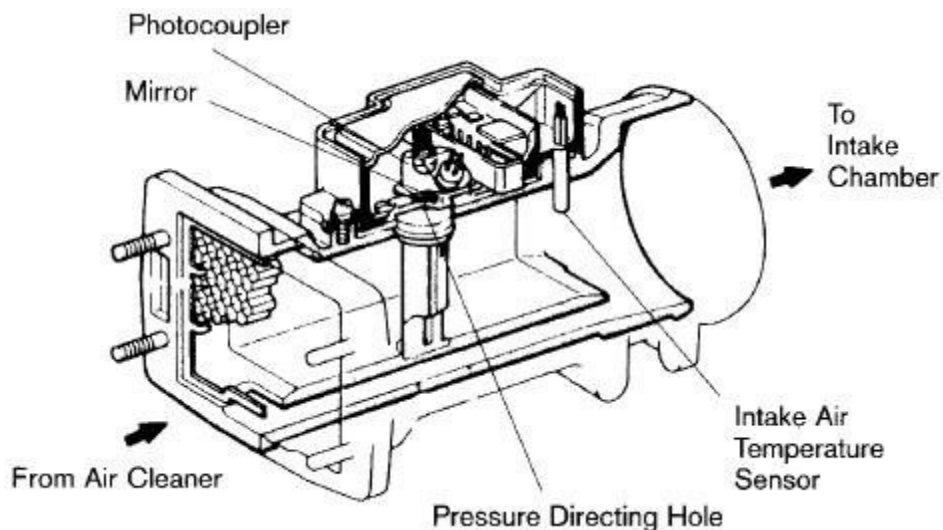


2.3 MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE DEL SISTEMA “KARMAN VORTEX”

Este dispositivo de medición utiliza una forma novedosa y diferente a las anteriormente estudiadas, y se basa en medir el número de moléculas de aire que circula dentro del dispositivo que cortan las ondas ultrasónicas provenientes de un generador.

En el lado opuesto del emisor existe un receptor que censa constantemente la interrupción, cuando mayor es el flujo de aire existe mayor cantidad de moléculas, es decir, la existencia de un mayor número de moléculas cortará un mayor número de ondas emitidas y las ondas censadas por el receptor serán menores, lo que indicaría un mayor caudal de aire aspirado por el motor, obteniendo exactamente lo contrario con un número menor de moléculas de aire.

Figura 2. 4 Esquema del sistema “Karman Vortex

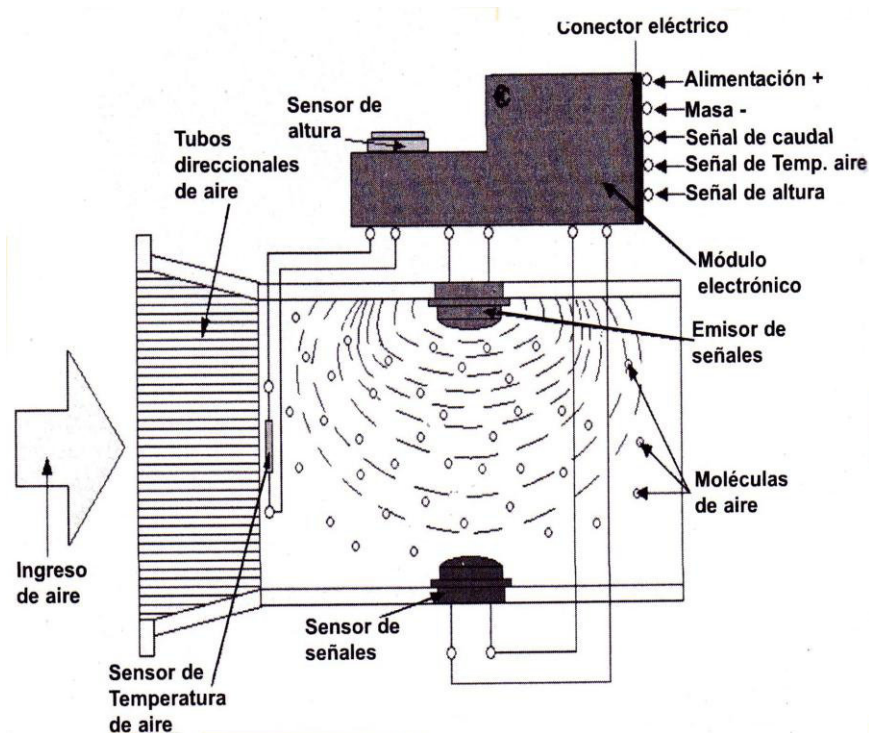


La computadora recibe las señales de corte de las ondas de ultrasonido como variaciones de frecuencia de corriente; además, el dispositivo consta de un sensor de temperatura del aire llamado NTC (Resistencia Variable Negativa), complementando el sistema y permitiendo medir la densidad del aire que ingresa a los cilindros.

Para evitar que el aire pierda dirección y choque bruscamente en el tubo, su estructura se encuentra diseñada en forma de rejillas o panel, con el fin de

impedir torbellinos con los que se perdería la eficiencia del sistema, permitiendo así una medición más exacta. Este sistema al ser electrónico, necesita de una alimentación de corriente para su etapa de amplificación de señal la misma que se enviará al computador del vehículo.

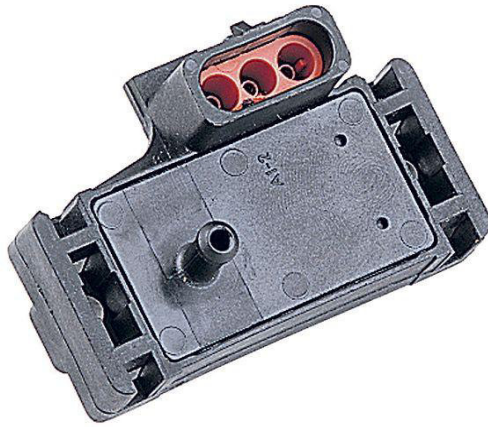
Figura 2. 5 Sistema de inyección electrónica de gasolina



Este sistema está dotado de “by pass” de forma cónica para aumentar la velocidad y aceleración del aire de entrada. Como elemento adicional, se ha instalado también un sensor de altitud (sensor barométrico), que le permite decidir a la computadora el volumen de inyección que necesita para cualquier posición geográfica de forma automática, reduciendo la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

2.4 MEDIDOR DE DEPRESIÓN DE AIRE ASPIRADO

Figura 2. Sensor MAP



Existen dos tipos de sensores de depresión de aire. Uno de ellos es el que utilizaba componentes mecánicos para su funcionamiento; y el otro, que se utiliza últimamente está construido por componentes electrónicos lo que da al sensor una mayor fiabilidad y exactitud en la medición (figura 2.7).

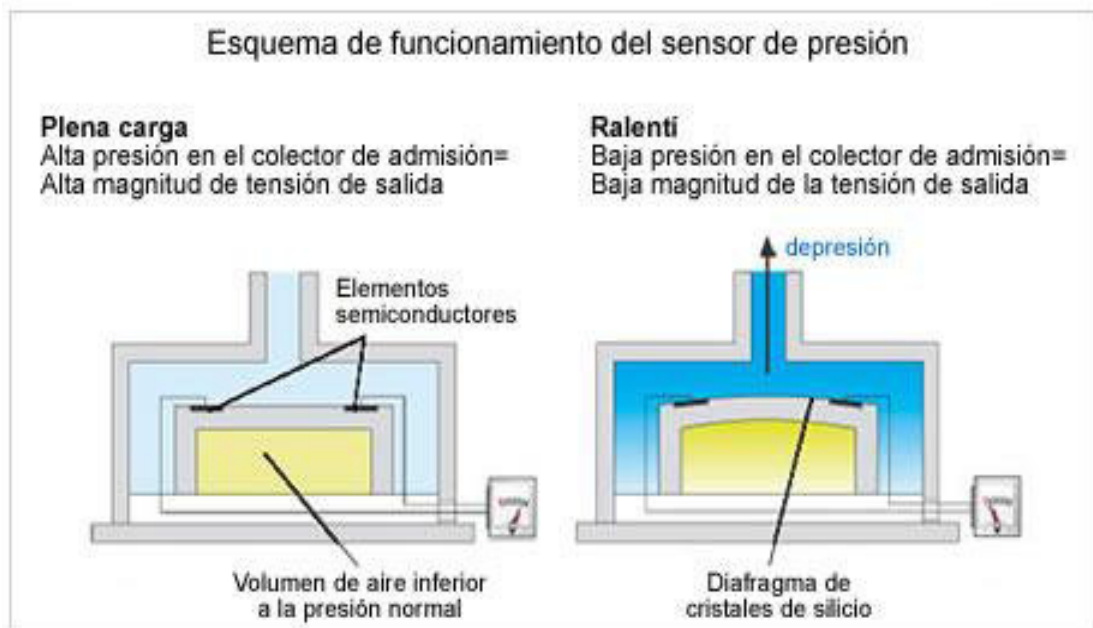
Inicialmente se utilizó este sensor para controlar el adelanto o retraso al encendido mediante la medición del vacío; actualmente, este sensor se utiliza también para enviar información al computador acerca del volumen de inyección requerido, gracias a la medición del aire que ingresa al motor, así se podrá tener un funcionamiento eficiente para cada carga o estado en el que el motor se encuentre.

El medidor de depresión también puede medir factores de altitud teniendo así un volumen de inyección apropiado para cada situación geográfica.

El sensor de depresión o MAP se construye con un material “piezoeléctrico” el cual compara a la presión atmosférica con la depresión en el colector de admisión. Esta información es la que recibe la computadora del vehículo en forma de variación de voltaje.

La medición se realiza mediante la conexión de un tubo directamente con el colector de admisión, otros poseen un sensor de temperatura que dará aún más parámetros a la computadora del vehículo en forma simultánea.

Figura 2. 6 Funcionamiento Sensor MAP



El sensor MAP es sencillo y fácil de adaptar a cualquier modelo, incluso muchos modelos utilizan también medidores de flujo de hilo o lámina caliente lo que los hacen aun más exactos.

2.5 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE VELOCIDADES DE FLUJO DE AIRE

Para medir velocidades, los instrumentos se desarrollaron 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 todas a la vez.

2.5.1 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.

En la figura 2.9 observamos las líneas de corriente que en el punto 1 se forma un estacionamiento, en donde la velocidad es cero y la presión aumenta.

Ecuación 2.1 Presión Estacionaria

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

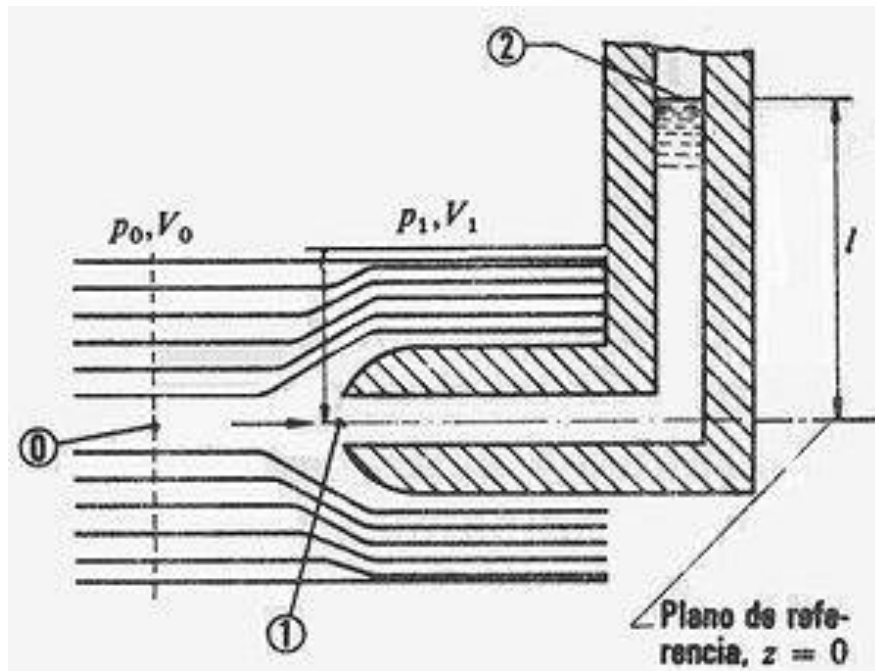
Donde:

Pt: Presión total o presión estacionaria.

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

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

Figura 2. 7 Tubo Pitot



2.5.2 Tubo de Prandtl

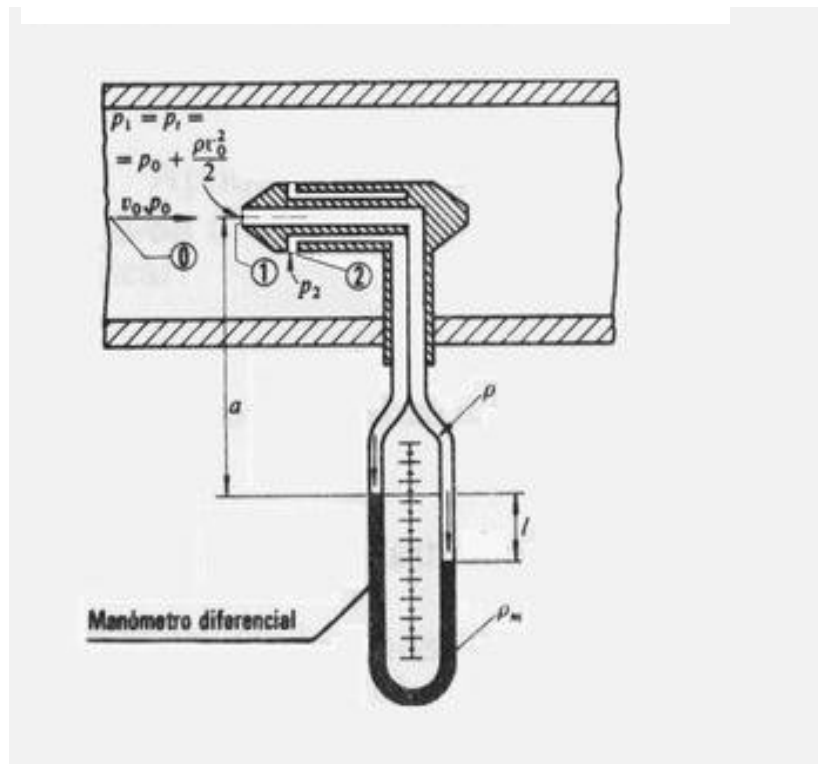
El tubo de Prandtl es la conjunción de un tubo piezométrico punto 2 en la figura 2.10, y un tubo Pitot punto 1 de la figura 2.10, donde el primero mide la presión estática y el segundo la presión total, y la diferencia de estas dos es la presión dinámica medida por el tubo de Prandtl mediante un manómetro diferencial, lo que permite determinar caudal y velocidad de la corriente del fluido.”⁴

⁴ MATAIX Claudio, Mecánica de Fluidos

Este instrumento es muy utilizado en aerodinámica para medir la velocidad del aire y caudal en ventiladores así como también en laboratorios de hidrodinámica.

En la figura se muestra un tubo de Prandtl introducido en una tubería y enfrentado a un flujo con una densidad ρ conectado a un manómetro diferencial con un líquido de densidad ρ_m .

Figura 2. 8 Tubo Prandtl



Tanto los tubos de Prandtl como Pitot al ser introducidos como sonda en una tubería produce una perturbación en el flujo formando un punto de estacionamiento donde:

$$P_1 = P_t$$

$$v_1 = 0$$

En el punto 0, la corriente que no se perturba por la sonda tiene una presión P_0 y la velocidad v_0 .

En el punto 2 es el elemento piezométrico que no es más que un tubo con perforaciones laterales que no intervienen en el flujo y por lo tanto medirá la presión estática.

Para efectos de cálculo se desprecian las diferencias de velocidades y alturas entre el punto 0 y el punto 2 ya que las dimensiones de los tubos empleados son muy pequeñas, además el flujo está prácticamente normalizado en el punto 2 después de pasar por el punto 1 donde se produce la perturbación, por lo tanto se desprecian las pérdidas.

$$v_{21} = v_{ot}(velocidad\ teórica\ punto\ 0)$$

$$P_2 = P_o$$

Después del análisis de los diferentes puntos dentro de la tubería donde se encuentra el tubo Prandtl procederemos a la utilización de la ecuación de Bernoulli entre 0 y 1:

Ecuación 2.2 Presión en el Punto 1

$$P_0 + \rho \frac{v_{ot}^2}{2} = P_1$$

Conforme con la ecuación 2.3 tenemos:

Ecuación 2.3 Diferencia de Presiones

$$P_1 - P_2 = \rho \frac{v_{ot}^2}{2}$$

Tomando los puntos 1 y 2, en el interior del manómetro tanto el fluido principal como el líquido que está dentro del manómetro están en reposo, por lo que se aplica la ecuación fundamental de hidrostática:

Ecuación 2.4 Fundamental de la Hidrostática

$$P_1 = P_2 + \rho g a + \rho_m g l - \rho g l - \rho g a$$

Por último de las ecuaciones 2.5 y 2.6 se deduce:

Ecuación 2.5 Presión dinámica teórica del tubo de Prandtl.

$$\rho \frac{v_{ot}^2}{2} = (\rho_m - \rho) g \cdot l$$

l: Lectura del manómetro diferencial.

g: Gravedad

Al despejar la velocidad teórica de la sección tendremos:

Ecuación 2.6 Velocidad de Corriente

$$v_{ot} = \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)}{\rho}} l$$

Para efectos prácticos v_0 es un tanto menor que v_2 por lo que P_2 es menor que P_0 , además cerca del punto 1 se pueden producir variaciones de velocidades mayores que 0, por inclinación del tubo Prandtl, por lo que P_1 será menor que P_t . Cabe señalar que solamente variaciones de $\pm 10^0$ podrían influenciar en la exactitud de la medición.

De lo expresado anteriormente se deduce que la velocidad real de la corriente en el tubo de Prandtl es la siguiente:

Ecuación 2.7 Velocidad de corriente con coeficiente

$$v_{ot} = Cv \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)}{\rho}} l$$

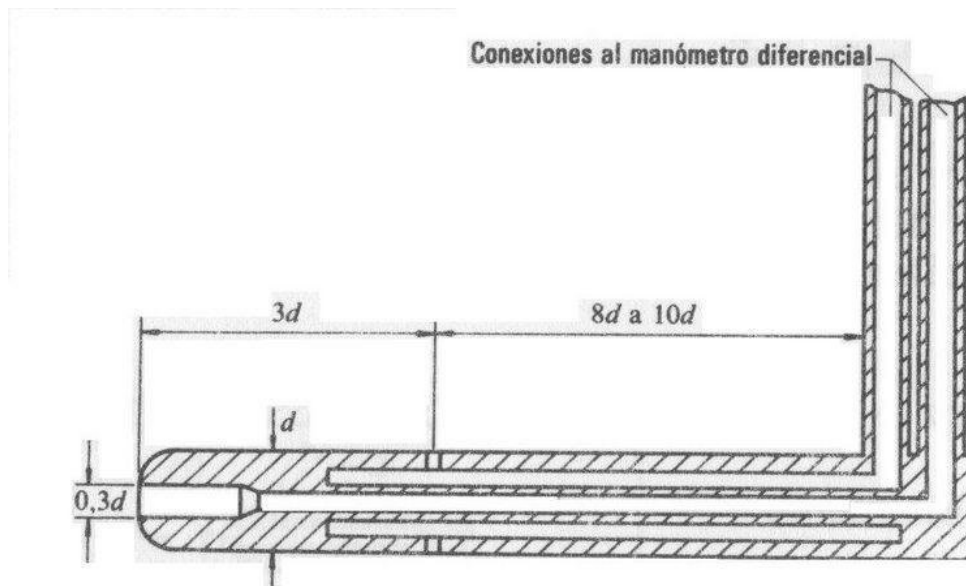
Cv : Coeficiente del tubo de Prandtl determinado experimentalmente (de 0,01 a 1,03), que dispuesto paralelamente a las líneas de flujo puede aproximarse a 1.

2.5.2.1 Dimensionamiento Normalizado del Tubo de Prandtl⁵

Para la construcción del tubo de Prandtl existen medidas estandarizadas, tanto en sus diámetros como en las longitudes para lograr que las pérdidas y/o restricciones del flujo de aire sean mínimas.

⁵ Normas ASME

Figura 2. 9 Tubo Prandtl



d: diámetro

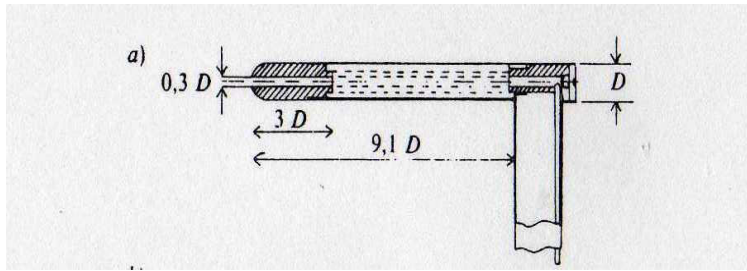
2.5.2.2 Tipos de Cabezas de Tubos de Prandtl

A continuación se presentan algunos de los modelos que se han desarrollado por distintas casas comerciales basadas en normas como ASME y AVA.

a. Cabeza Semiesférica (1)

Semejante a un tubo en forma de gancho, construido en el mismo tubo de Prandtl.

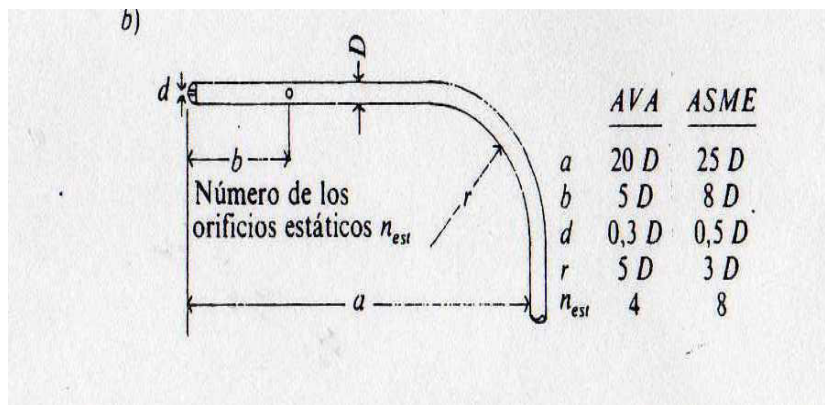
Figura 2. 10 Cabeza Semiesferica 1



b. Cabeza Semiesférica (2)

Codo suave desarrollado por la casa comercial Gottingen bajo normas ASME de los Estados Unidos de América. Cabeza usada en el proyecto de Flujómetro para Cabezones.

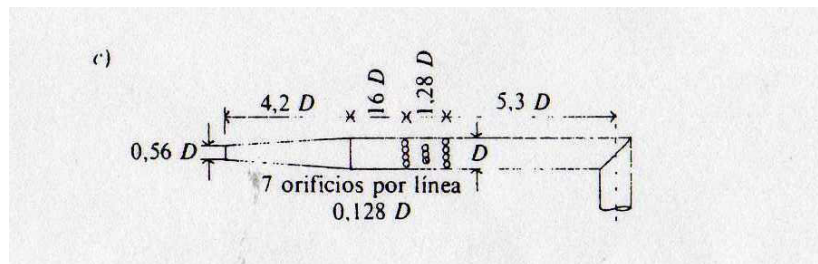
Figura 2. 11 Cabeza Semiesferica 2



c. Cabeza Cónica

Desarrollada por el departamento Nacional de Física de Inglaterra, semejante a un cono de helado.

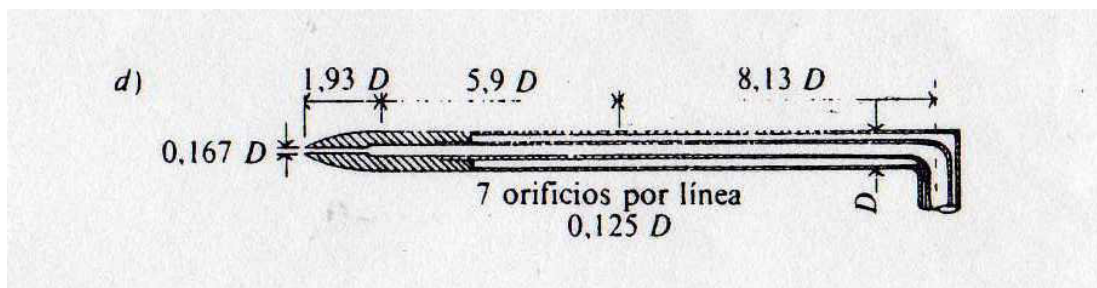
Figura 2. 12 Cabeza Cónica



d. Cabeza Elipsoidal

Construido para evitar desprendimientos de corriente, elaborado también por el departamento Nacional de Física de Inglaterra.

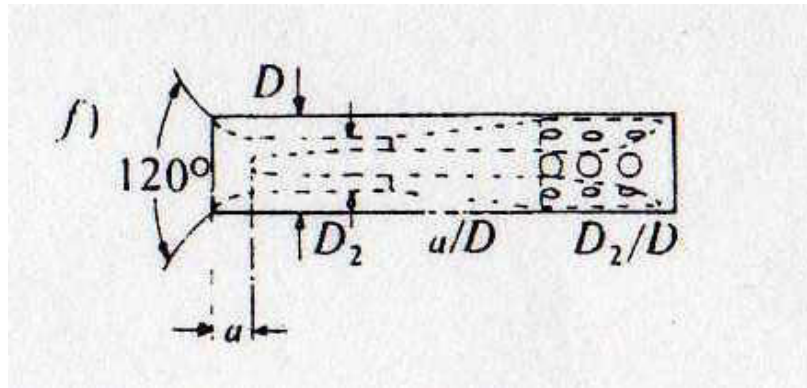
Figura 2. 13 Cabeza Elipsoidal



e. Forma Aerodinámica

Reduce al mínimo las perturbaciones del flujo debido a su forma aerodinámica.

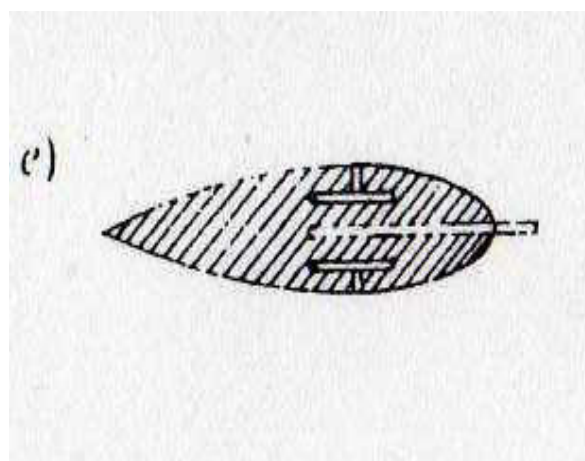
Figura 2. 14 Cabeza Aerodinámica



f. Forma Interior Elaborada

Sensible al cambio de dirección.”⁶

Figura 2. 15 Forma Interior Elaborada



⁶ MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos

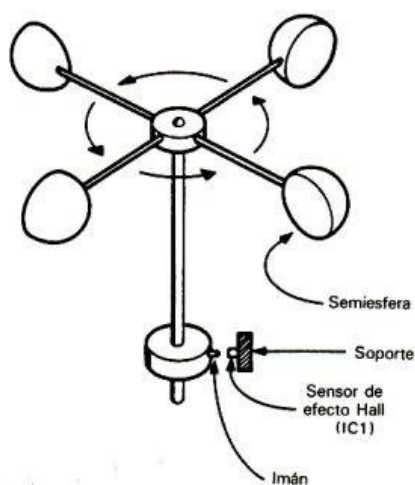
2.5.3 Anemómetros

Los tipos más comunes de anemómetros son el de eje vertical y el de eje horizontal.

2.5.3.1 Anemómetro de Eje Vertical

Es un instrumento que permite medir la velocidad relativa del aire, y es aprovechado en áreas de meteorología y navegación por su facilidad de uso. Se forma por cuatro semiesferas dispuestas en una cruceta, que puede girar libremente, de manera que las caras cóncavas en el mismo brazo miren en direcciones opuestas (figura 2.18). La resistencia a la corriente de aire en la parte cóncava es aproximadamente 3 veces mayor que en la convexa, lo que da origen a un par de giro. La velocidad del viento es aproximadamente proporcional al número de revoluciones de la cruceta. Con este anemómetro podrán medirse velocidades entre 0,5 y 50 m/s.

Figura 2. 16 Anemómetro de Eje Vertical

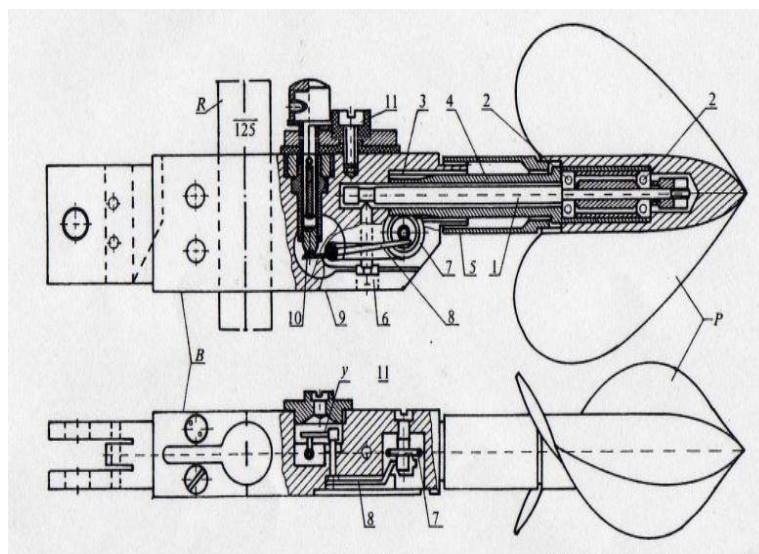


2.5.3.2 Anemómetro de eje horizontal.

“El anemómetro de paletas que puede observarse en la figura 2.19, se asemeja a una turbina de hélice accionada por el viento que le permite girar libremente en el interior de su armazón cilíndrico.

El número de revoluciones que imprime la turbina guarda relación con la velocidad del aire y sus parámetros de medición van desde 2 a 20 m/s, por lo que su utilización para el proyecto que se está desarrollando no es el adecuado.”⁷

Figura 2. 17 Anemómetro de eje horizontal



⁷ MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos

CAPÍTULO III

3. 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 al fluido en su trayectoria.

8

Tabla 3.1 Valores propiedades de fluidos

Propiedad	Designación	Unidades	Valores	
			Agua	Aire
Masa específica	P	kg/m ³	1.000	1,2
Viscosidad	β	g/ms	1,0	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	72,8	-

3.1 DESCRIPCIONES LAGRANGIANA Y EULERIANA DEL MOVIMIENTO DE UN FLUIDO

Existen 2 métodos para describir el movimiento de los fluidos, Lagrangiana y Euleriana, llamadas así por científicos que las describieron de la siguiente manera:

⁸ **VERNARD J.K, Elementos de Mecánica de Fluidos**

La descripción Lagrangiana, describe la velocidad de cada elemento de un fluido y manifiesta que al seguir a cada partícula fluida en movimiento, se examinará funciones que den la posición del fluido, así como las propiedades de la partícula fluida en cada instante.

La descripción Euleriana, estudia el movimiento de acuerdo a las velocidades de los puntos que ocupa en el fluido, sin importar si se encuentran otras partículas presentes

En mecánica de fluidos, la descripción Euleriana es la más usada ya que en la mayoría de casos y aplicaciones es más útil. Dicha descripción se usa para la obtención de las ecuaciones generales.

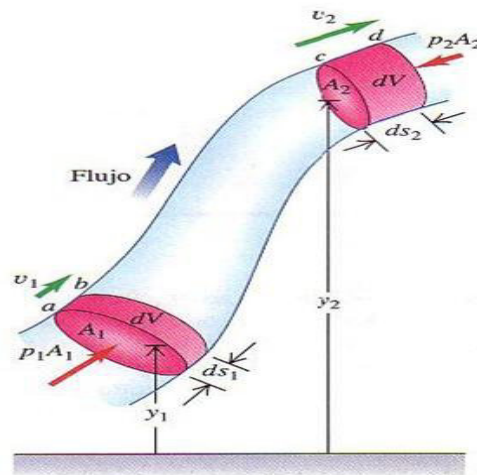
3.2 PRINCIPIO DE BERNOULLI

El Principio de Bernoulli es conocido también como la ecuación de Bernoulli o trinomio de Bernoulli, en esta se enuncia que en un fluido ideal, es decir sin viscosidad ni rozamiento 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 la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal. Mediante este teorema se 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 a lo largo de un tubo de sección variable, su velocidad cambia. Esto exige que esté sometido a una fuerza resultante, lo que significa que ha de variar la presión a lo largo del tubo de flujo aunque no se modifique la altura.

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.

Figura 3. 1 Principio de Bernoulli



La energía de un fluido en cualquier momento 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. (P)

Ecuación 3.1 Teorema de Bernoulli

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

3.3 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, el vino y algunos aceites minerales.

Figura 3. 2 Fluidos Newtonianos



3.4 FLUIDO NO NEWTONIANO

Es un fluido cuya viscosidad varía con la temperatura y presión, no tiene un valor de viscosidad definido y constante. No sufren deformación si se les aplica una fuerza tangencial, su deformación es nula y muy de repente dependerá del tiempo. Ejemplos. El yeso, la plastilina, el betún, etc.

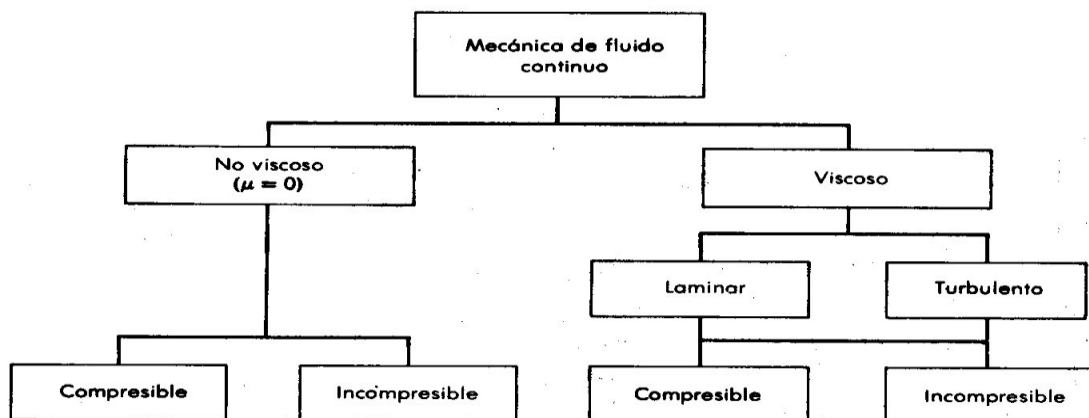
Figura 3. 3 Fluidos No Newtonianos



3.5 TIPOS DE FLUJO

Tenemos 4 tipos de flujo en lo que corresponde a mecánica de fluidos y son los siguientes.

Cuadro 3. 1 Mecánica de Fluidos

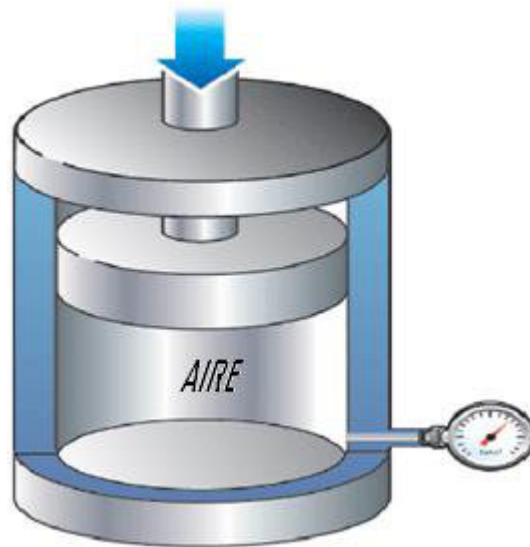


Todos los fluidos son compresibles, en mayor o menor medida.

3.5.1 Flujo Compresible

La compresibilidad de un flujo es normalmente una medida en el cambio de la densidad, puesto que al fluir ejercen una velocidad que se la puede comparar con la velocidad del sonido.

Figura 3. 4 Flujo Compresible



Principalmente al experimentar el fluido un flujo con una velocidad igual o casi igual a la velocidad del sonido, tendrá el efecto esperado que es el cambio de densidad que se lo puede distinguir o conseguir mucho mas rápido en un gas que en un liquido.

En un gas, para alcanzar estas velocidades sónicas de flujo sólo precisa una relación de presiones de 2:1. Los gases son en general muy compresibles. Una presión alta al aire provoca un cambio de densidad de alta magnitud igual.

Los líquidos precisan de presiones del orden de 1000 atmósferas, para que su densidad varíe y su velocidad se compare a la del sonido. La mayoría de los

líquidos tienen una compresibilidad muy baja. Una presión de alta provoca un cambio de densidad en el agua a temperatura ambiente, baja.

Cuando un avión se acerca a la velocidad del sonido, la forma en que el aire fluye alrededor de su superficie cambia y se convierte en un fluido compresible, dando lugar a una resistencia mayor.

3.5.2 Flujo Incompresible

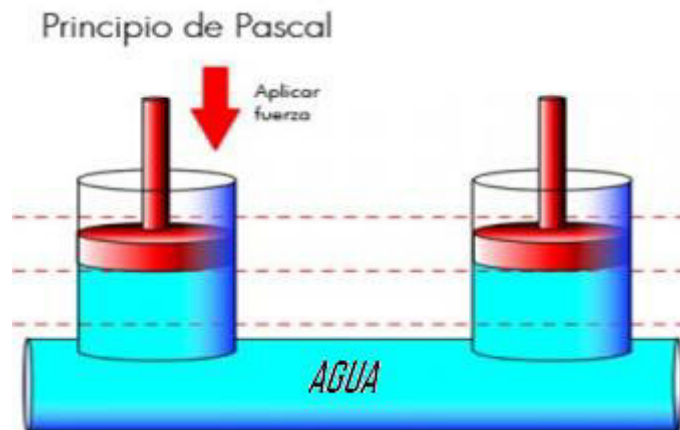
Como se estudió en el flujo compresible, para determinar si un flujo es compresible e incompresible, mucho depende también del nivel de la variación de densidad del fluido durante ese flujo.

La incompresibilidad manifiesta que la densidad permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo, por lo tanto el volumen del fluido permanece constante en el flujo o trayectoria.

Los líquidos mantienen densidades constantes por tanto el flujo de un líquido es normalmente incompresible. La incompresibilidad de un líquido se puede decir que es de alta exactitud ya que el nivel de variación de la densidad es mínima en base a la temperatura.

Con frecuencia, los flujos de gases se pueden aproximar como incompresibles si los cambios en la densidad se encuentra por debajo de alrededor de 100 m/s. Así el flujo de un gas no es necesariamente compresible.

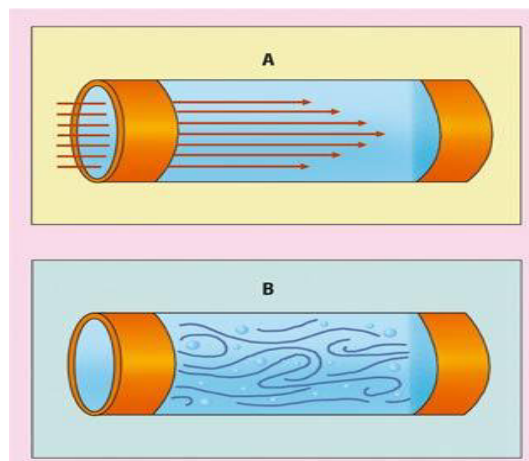
Figura 3. 5 Flujo Incompresible - Principio de Pascal



3.6 FLUJOMETRÍA.

En este capítulo se estudiarán los fluidos en movimiento tomando como parámetro un fluido ideal, carente de rozamiento interno o viscosidad e incompresible. Esta última cualidad constituye una excelente aproximación cuando hablamos de fluidos líquidos, aunque se puede aplicar con acierto a los fluidos gaseosos siempre y cuando las fluctuaciones de presión no sean considerables.

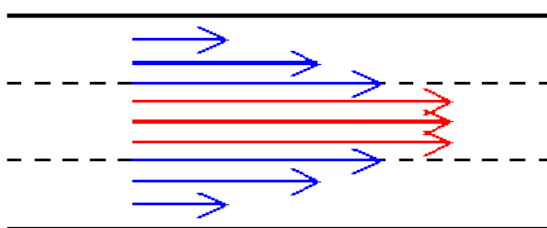
Figura 3. 6 Flujo Laminar y Flujo Turbulento



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 (figura 3.6), 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 elemento 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.

Figura 3. 7 Trayectoria Líneas de Corriente Flujo Laminar



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.

La línea de corriente es tangente, coincide con la velocidad del fluido en un punto aleatorio. Las líneas de corriente coinciden con las líneas de flujo cuando

el flujo es estacionario. Las líneas de corriente que pasan por la periferia de un elemento superficial, encierran un volumen determinado, que se lo toma como un tubo de flujo (figura 3.7).

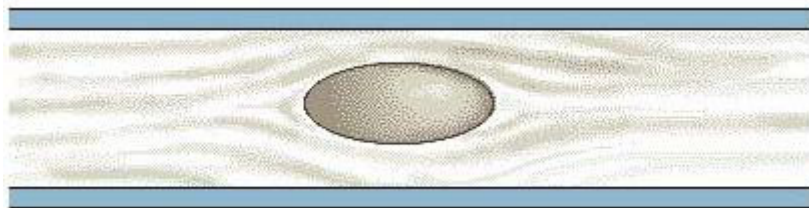
3.6.1 Flujo Laminar

Se denomina flujo laminar o corriente de flujo laminar cuando un fluido se mueve en capas paralelas sin llegar a mezclarse una con la otra.

Este tipo de fluido se encuentra cercano a las paredes del tubo por donde circula en donde se produce fricción y disminuye la velocidad de flujo.

El flujo estacionario, unidimensional, de un fluido en el que las capas contiguas se deslizan unas sobre otras, (como las cartas de una baraja), sin corrientes transversales ni torbellinos, es decir, sin mezcla lateral, se denomina **Flujo Laminar**. No se identifica con el flujo potencial, porque en aquél (laminar) sí pueden existir disipaciones en forma de calor a consecuencia de las distintas velocidades de las capas fluidas. El flujo potencial representa un caso particular de flujo laminar.

Figura 3. 8 Flujo Laminar



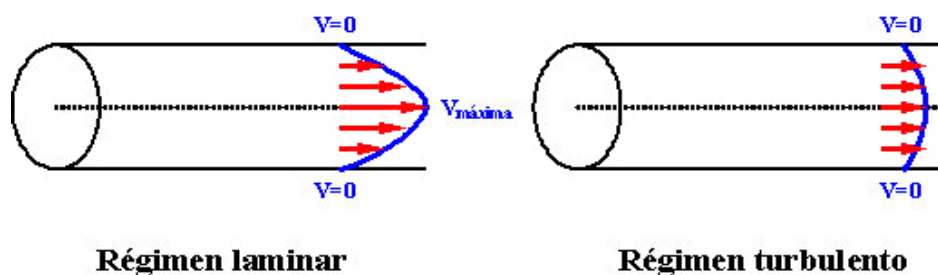
La característica más importante, del movimiento de un fluido real es la aparición de dos tipos distintos de flujo.

El flujo laminar, en el cual se pueden definir fácilmente líneas de corriente, que se denominan líneas de corriente, esto es, líneas envolventes del campo de las velocidades. El fluido se mueve, por decir así, en capas o láminas superpuestas que se "deslizan" unas sobre otras. Incluso cuando el flujo no es permanente el campo de velocidad cambia de una manera "ordenada", de un instante a otro.

3.6.2 Flujo Turbulento

Las partículas se mueven siguiendo trayectorias erráticas, desordenadas, con formación de torbellinos. Cuando aumenta la velocidad del flujo y por tanto el número de Reynolds, la tendencia al desorden crece. Ninguna capa de fluido avanza más rápido que las demás, y sólo existe un fuerte gradiente de velocidad en las proximidades de las paredes de la tubería, ya que las partículas en contacto con la pared han de tener forzosamente velocidad nula.

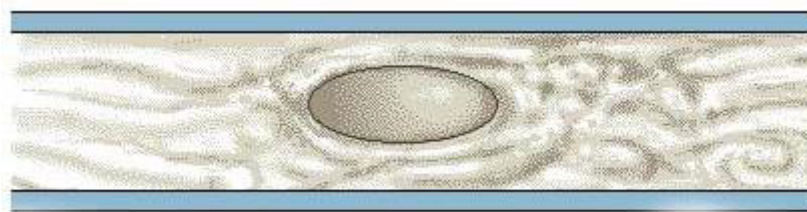
Figura 3. 9 Perfil Laminar y Turbulento



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.

Figura 3. 10 Flujo turbulento



Dentro del régimen turbulento se pueden encontrar tres zonas diferentes:

3.6.2.1 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.

3.6.2.2 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.

3.6.2.3 Régimen turbulento rugoso

Las pérdidas de carga son independientes del número de Reynolds y dependen sólo de la rugosidad del material. Se da para valores muy elevados del número de Reynolds.

3.7 NÚMERO DE REYNOLDS

Si la velocidad de un fluido que circula por un tubo excede un valor crítico, dependiendo de las propiedades del fluido, como 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.

Después de la capa límite el flujo será extremadamente irregular, produciéndose vórtices o torbellinos que generan resistencia al movimiento del fluido, sin embargo en cada punto habrá un componente de velocidad que favorece el flujo, un flujo de este tipo se denomina turbulento.

Para determinar las características de un fluido se aplica una combinación de cuatro factores que se llamará “Número de Reynolds” definido por la ecuación:

Ecuación 3.2 Número de Reynolds

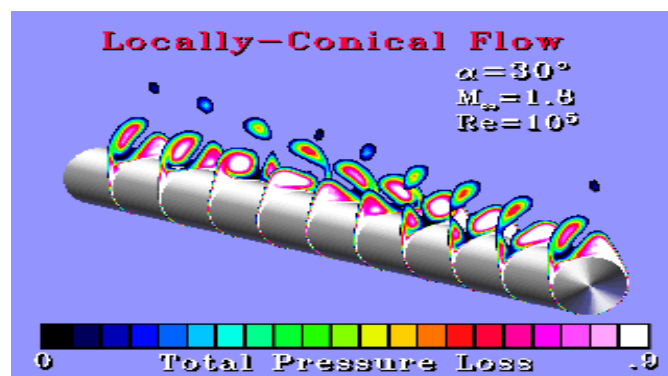
$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Donde ρ es la densidad del fluido; V , la velocidad del flujo; D , el diámetro del tubo y η el Coeficiente de viscosidad del fluido.

El valor calculado con la ecuación nos dará un valor adimensional por lo que su valor numérico es igual en cualquier sistema de unidades.

Experimentalmente está demostrado que cuando el número de Reynolds es menor a 2000, el flujo es laminar, mientras que por encima de 3000 y entre 2000 y 3000, el flujo es inestable pudiendo pasar de un tipo a otro en cualquier momento.

Figura 3. 11 Flujo Turbulento



Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo.

Conforme aumenta el flujo másico aumenta las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas 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).

Ecuación 3.3 Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{\textit{Fuerzas--Inerciales}}{\textit{Fuerzas--viscosas}} = \frac{\rho DV}{\mu}$$

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

El número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos. Observando la ecuación anterior, cuando las fuerzas viscosas tienen un efecto dominante en la pérdida de energía, el número de Reynolds es pequeño y el flujo se encuentra en el régimen laminar. Si el Número de Reynolds es 2100 o menor el flujo será laminar. Un número de Reynold mayor de 10 000 indican que las fuerzas viscosas influyen poco en la pérdida de energía y el flujo es turbulento.

3.7.1 Número de Reynolds en flujo laminar

Ecuación 3.4 Numero de Reynolds en flujo laminar

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

O equivalentemente por:

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

Donde:

ρ : 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.

μ : viscosidad dinámica del fluido

ν : 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.

Figura 3. 12 Perfiles de Flujo Laminar y Turbuelento



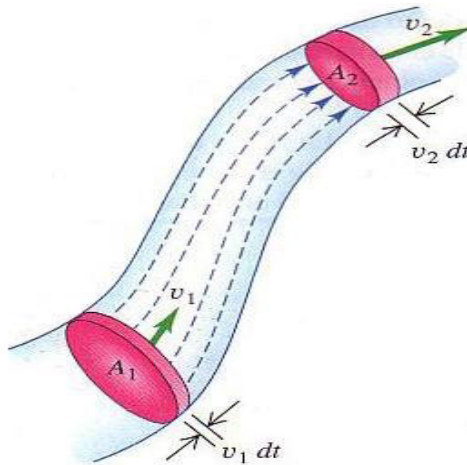
3.7.2 Número de Reynolds en flujo turbulento

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.

3.8 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

La Ecuación de continuidad es la expresión matemática que 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. Es decir, la masa de aire que entra en una tubería es la misma a la salida teniendo así la conservación de la masa.

Figura 3. 13 Principio de Continuidad



En la figura 3.13 se muestra 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 corresponde a la masa de aire que circula en la superficie A_1 , o sea, $A_1 v_1 dt$. Si la densidad del fluido es ρ la masa que ingresa es $\rho A_1 v_1 dt$. Análogamente, la masa que sale a través de A_2 en igual tiempo es $\rho A_2 v_2 dt$. El volumen comprendido entre A_1 y A_2 es constante y, dado que el flujo es estacionario, la masa que entra es igual a la que sale.

Por lo tanto:

$\rho A_1 v_1 dt = \rho A_2 v_2 dt$, lo que da como resultado.

Ecuación 3.5 De Continuidad

$$A_1 v_1 = A_2 v_2.$$

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

CAPÍTULO IV

4. TRABAJOS DE TRUCAJE EN CULATA

Dentro del país, la preparación y trucaje de motores de combustión interna, se ha estado realizando en forma artesanal por parte de los técnicos en mecánica automotriz. Esto significa que no poseen conocimientos claros respecto al tema, sin un análisis pormenorizado que permita establecer parámetros de eficiencia, los cuales deberían ser técnicamente manejados para identificar la ganancia que un motor pueda soportar.

El trucaje se refiere a la potenciación y aprovechamiento de las características de un motor; existen diversas formas mediante las cuales el operador puede mejorar el rendimiento del motor así como también sus componentes internos; entre ellas encontramos, el aumento del cilindraje, el incremento de la presión media efectiva y el mejoramiento del régimen de giro, entre otras.

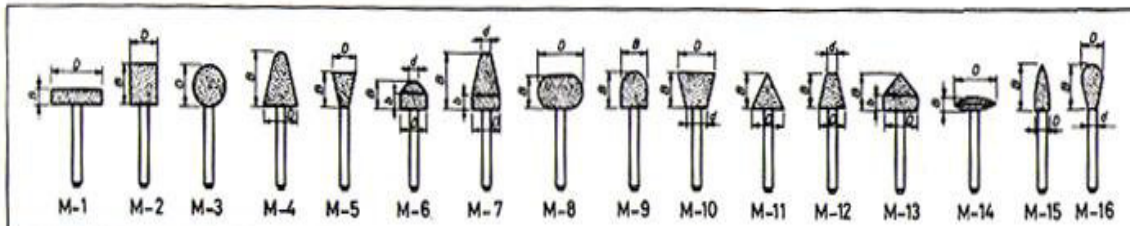
4.1. TRABAJOS EN LAS TOBERAS DE ADMISIÓN

En la práctica se realiza el rediseño de los colectores de admisión, que son pasajes donde se generan presiones y dan paso al aire, éste se dirige hacia la cámara de combustión, para lo cual se realiza lo que es un pulido de toberas o ductos de admisión, mediante piedras abrasivas de diferentes diseños, gratas de distinta numeración y por último lijas para un óptimo acabado, donde se mejoraría el incremento de la presión media efectiva (corresponde a la presión

promedio que ejercen los gases durante el tiempo de trabajo en un motor), incrementando la capacidad de llenado del cilindro en tiempo de admisión.

4.1.1 Tipos de piedras abrasivas

Tabla 4.1 Tipos de Piedras Abrasivas⁹

																	
TIPO	Medidas en mm.				No de la muela	TIPO	Medidas en mm.				No de la muela	TIPO	Medidas en mm.				No de la muela
	D	B	d	b			D	B	d	b			D	B	d	b	
M-1	15	4			11	M-4	20	25			41	M-10	20	16	12		101
	20	4			12		25	25			42		25	20	15		102
	25	5			13		30	30			43						
	30	6			14												
	35	8			15	M-5	10	10			51	M-11	10	10			111
	40	10			16		12	12			52		12	12			112
							15	15			53		15	15			113
													20	20			114
M-2	4	8			21	M-6	15	10	5	5	61						
	5	9			22		20	15	7,5	7,5	62						
	6	10			23		25	20	10	10	63	M-12	12	15	8,5		121
	8	12			24								25	32	15		122
	10	10			25	M-7	12	15	3	5	71						
	10	15			26		15	20	4	6,5	72						
	10	25			27		20	25	5	7,5	73	M-13	20	25		9	131
	12	12			28		20	63	5,5	20	74		30	30		12	132
	15	20			29												
	15	35			210	M-8	12	4			81						
							20	8			82	M-14	30	6			141
							30	15			83		50	6			142
M-3	10				31	M-9	10	20			91						
	12				32		12	24			92	M-15	9	19			151
	15				33		13	13			93						
	20				34		15	20			94						
	25				35		20	20			95	M-16	10,5	16	6,5		161
	30				36		25	25			96						
	40				37												
	50				38												

Una vez realizado el trabajo de pulido de los ductos de admisión en culatas, no se puede establecer ninguna medición, más que solamente una inspección en el acabado de la pieza, siendo una manera muy artesanal de manejar el tema

por parte de los talleres que supuestamente realizan un mejoramiento de motores.

El flujómetro es un equipo que permite realizar las mediciones de la condición aerodinámica en el paso de aire a la admisión en una culata o cabezote, esta máquina envía o succiona aire por medio de los ductos, midiendo así la resistencia al flujo de aire, así como también se comparan las variaciones de presión que se producen internamente; a mayor presión en los pasajes – menor restricción y por consiguiente más eficiencia. También se puede determinar el comportamiento turbulento del aire cuando pasa por los ductos.

La presión interna dentro de los ductos de admisión tiene relación con el diámetro de dichos ductos, de ahí la razón fundamental por la cual se debe tener en cuenta el motivo específico para realizar una potenciación de un motor, ya que el límite a la restricción de gases debe estar relacionado con los parámetros en los cuales el vehículo vaya a trabajar, estamos hablando de la cantidad de RPM, por tanto, en los vehículos podemos encontrar diversos tipos de culatas o cabezotes de diferentes cilindrajes, así tenemos los estándares, los grandes que son para vehículos que trabajan a altas RPM y los de competencia que son los que requieren de un ingreso de aire mayor con menor restricción ya que trabajan a muy altas RPM.

10
Tabla 4.2 Prueba de Flujo

Prueba de Flujo del port de admisión en el rango 180-199 cc						
Abertura Válvula	Air Flow Research 190	Brodix-8 Pro	Canfield Aluminum	Holley SysteMAX	GM LT4	Edelbrock Performer*
.20	144	125	141	130	147	121
.30	208	177	201	184	197	174
.40	244	220	247	222	230	216
.50	262	254	258	242	250	235
.60	261	226	257	252	243	236

* Edelbrock Performer tiene 166cc, pero fue probada porque compite en este segmento de mercado.

Para la preparación de ductos de admisión hay que tener en cuenta que al modificar un componente, es muy probable que otro deba ser mejorado o sustituido también, tal es así que en lo que corresponde a distribución y árboles de leva específicamente en su reglaje, tienen relación con el régimen de llenado óptimo cuando la aleta de aceleración permanece abierta completamente y el motor se encuentra a plena carga.

Múltiples tanto de admisión como de escape también juegan un papel muy importante en su diseño para alcanzar el par motor máximo o la potencia máxima, sea lo que el usuario requiera a altas o bajas RPM, esto es lo que se llama puesta a punto.

¹⁰ Culatas: Manuel "Tronco" Rodríguez

Con la puesta a punto de un motor lo que conseguiremos es la resonancia interna que es equivalente a igualar el flujo de ingreso de gas con la apertura de válvula de admisión igualando estos 2 ciclos, de ello dependerá mucho también la longitud de los ductos.

Primera condición que se debe tener para la calibración de ductos de admisión es el incremento de la presión de admisión, ya que es notorio el cambio que se produce al elevar un mínimo de presión de admisión en la potenciación de un motor.

Se debe tener en cuenta que al realizar una potenciación es mucho más factible realizar en vehículos de serie, ya que las mismas marcas realizan motores especiales, los cuales vienen en versiones full del vehículo en fabricación y ya constan de partes mecanizadas en el interior de su motor.

Lo que se busca es permitir el paso de aire a mayor velocidad y propiciar la turbulencia adecuada basándonos en el diseño tanto en forma como en pulido y acabado que se da al mecanizar la pieza, teniendo en cuenta también que ingresando el aire antes de pasar por la apertura de admisión, debe elevarse lo que más se pueda para que todo lo anterior tenga su efecto esperado.

Con respecto al diseño tanto en su forma como acabado es indispensable mencionar que el ducto no debe ser completamente cilíndrico sino que debe dividirse en estaciones con conicidades, mediante las cuales el aire mejora el

comportamiento elevando la presión por los pasajes que se sincronizan con el cierre y apertura de la válvula de admisión.

La implementación o la remodelación del cabezote o culata, se la realiza justamente para no cambiar diámetros de válvulas ya que el objetivo es crear un efecto venturi justo en el punto de incidencia entre la válvula y culata, donde comienza el asiento, y si cambiamos de válvulas o diámetros de válvulas vamos a alterar ese efecto tan esperado por haber realizado la pulida y acabado de ductos de admisión.

4.1.2 Fase 1 (Elevación)

En la práctica dichas conicidades se deben establecer según medidas, lo óptimo sería empezar con un ensanchamiento al comienzo del ducto (salida del múltiple) a un 85% del diámetro de la válvula de admisión.

4.1.3 Fase 2 (Acumulación o Reposo)

Luego paulatinamente ir aumentando el diámetro hasta llegar a tener el diámetro exacto de la válvula, no exceder para no tener caída de velocidad o presión.

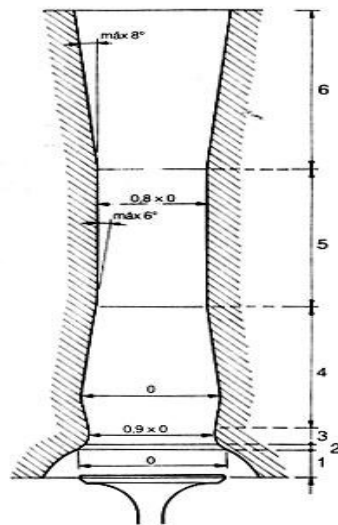
4.1.4 Fase 3 (Expulsación)

Y por último a 1,27 cm aproximadamente bajo el cierre de la válvula, nuevamente reduce gradualmente hasta tener igual un 85% del diámetro de la válvula para conseguir el efecto venturi esperado.

Para evitar pérdidas de flujo se debe tener en cuenta las siguientes precauciones clave:

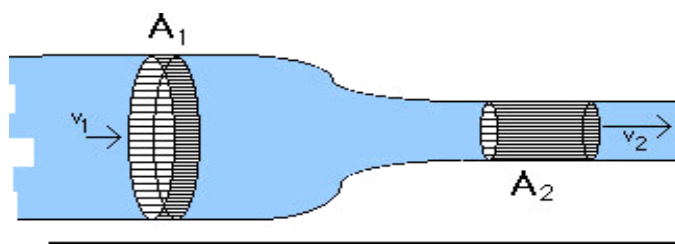
Cambios de dirección (curvaturas de ducto).

Figura 4. 1 Ducto de Admision



- Remover el material especialmente de la curva más abierta del conducto, ya que ahí se genera restricción, dejando un radio más grande para mejorar e incrementar el flujo de aire.
- La forma del asiento tiene un efecto sustancial sobre la pérdida de flujo.
- Disminución de velocidad (expansión de ducto o área).

Figura 4. 2 Flujo de Aire en Tubo Venturi



- El área del conducto o diámetro debe mantenerse en el rango del 65% y 100% del área o diámetro de las válvulas.
- La zona donde se desempeña la función venturi, tanto a la entrada de la válvula como incremento de área a la salida, juegan un papel muy importante en su diseño que debe ser regularizado a media pulgada en la entrada y media pulgada a la salida.

NOTA: El largo del conducto y su acabado superficial no inciden directamente en el comportamiento del flujo.

La longitud que posea el ducto de admisión tendrá incidencia en el procedimiento, en tanto en cuanto el aire al encontrarse con la válvula de admisión cerrada, se choca con una pared hermética, el mismo que creará un retorno del aire hacia la admisión, topándose con un nuevo flujo de aire que desea entrar y vuelve a tomar su dirección hacia el cilindro, este ciclo lo realiza por inercia y dinámica de los gases, tal es así que su parámetro para que este efecto funcione es casi siempre a altas revoluciones, y su finalidad es de que el aire que se encuentra realizando el ciclo, vuelva a ingresar a la admisión en el momento exacto de apertura de válvula ya que ingresará con velocidad extra.

También se debe tomar en cuenta que en los vehículos, cuyos motores son fabricados en serie, no vienen con estos detalles, puede ser por distintos factores, entre ellos podemos encontrar que cerca de los alojamientos de ductos de admisión o de escape, hay ductos de refrigeración, de aceite,

alojamiento de pernos, etc; debemos estar seguros con qué límites y condiciones trabajaríamos.

El diseño de los cabezotes o culatas de diferentes vehículos, tienen cambios en su construcción por parte de sus diseñadores, y así tenemos formas en sus conductos y en el posicionamiento de la válvula de admisión con respecto al pistón o al block, de ahí establecemos que al estar funcionando en el tiempo de admisión, la mezcla ingresa en forma turbulenta, generando velocidad en todo el aire a través de los conductos hasta llegar al tope con la válvula y por consiguiente entrar a la cámara y empezar con el llenado del cilindro.

Como base del proyecto se utilizará cabezotes de SUZUKI FORSA 1, de tres cilindros, pues son los vehículos con motor que los técnicos preparan en el país.

Consta de un motor de tres cilindros en línea, viene en diferentes versiones donde varían sus HP por el tipo de sistema de alimentación que lleve, su cilindraje es de 993 centímetros cúbicos o 61 pulgadas cúbicas, el diámetro del cilindro es de 74 milímetros o 2.91 pulgadas y la carrera del pistón es de 77 milímetros o 3,03 pulgadas.

La relación de compresión fluctúa desde los 8,3:1 a 9,8:1 dependiendo mucho del sistema de combustible, carburador o inyección de combustible, donde la potencia que produce también oscila entre los 48 HP a 5100 revoluciones hasta

las 82 HP a 5500 revoluciones, erogando un torque de 77 Newton metros a 3200 revoluciones hasta 120 Newton metros a 3500 revoluciones.

Ya que han existido diversas versiones de motores con el pasar de los años entre los 80 hasta 91, las potencias variaron demasiado pero la versión japonesa comenta que en 1984 se crearon motores a carburador que producían 80 HP a 5500 revoluciones y salió a la venta en junio del 84.

Estos valores se los consultó ya que el flujo de aire a través del motor puede ser calculado mediante la siguiente fórmula, en la cual se expresa que el promedio del flujo de aire (*cfm) es igual a 1.6 por el caballaje que tenga cada cilindro.

Ahora el flujo mediante el ducto de admisión también se lo puede calcular ya que se maneja la constante de que el flujo de aire que circula por la admisión, será 2,5 veces el promedio del flujo de aire del cilindro puesto que la admisión ocurre en el 40% del total del ciclo.

Si nos basamos en el rango de Potencia que maneja el motor Suzuki Forsa 1, para calcular se haría un promedio entre el caballaje menor y el más alto, así como también nos basamos en la potencia de la versión neta japonesa ya que se sabe que son vehículos ensamblados aquí pero importados por CKD todos sus componentes.

* CFM = PIES CUBICOS POR MINUTO (CUBIC PER MINUTE)

Forsa 1, entre sus distintas versiones de motores tiene diferentes caballajes, 65 HP a un régimen de 5300 RPM, que es un promedio entre dichas versiones. Ahora si se calcula el promedio de flujo de aire a través de cada cilindro tendríamos:

Donde (cfm) son pies cúbicos por minuto.

Promedio flujo de aire en el cilindro.

$$1,6 \times \text{HP por cilindro}$$

$$1,6 \times 21,66 = 34,65 \text{ cfm}$$

Promedio de flujo de aire por el ducto de admisión.

$2,5 \times \text{Promedio de flujo de aire por el ducto de admisión} = \text{Promedio del flujo de aire en el cilindro.}$

$$2,5 \times 34,65 = 86,64 \text{ cfm}$$

Si se realiza esta prueba en el motor Forsa 1 versión japonesa, es decir, el motor de 80 HP a 5500 RPM, el cálculo de los flujos será el especificado en los siguientes puntos:

Promedio flujo de aire en el cilindro.

Ecuación 4.1 Promedio Flujo de Aire en el Cilindro

$$1,6 \times \text{HP por cilindro}$$

$$1,6 \times 26,66 = 42,65 \text{ cfm}$$

2,5 x Promedio de flujo de aire por el ducto de admisión = Promedio del flujo de
aire en el cilindro.

$$2,5 \times 42,65 = 106,64 \text{ cfm}$$

4.2. EFICIENCIA VOLUMÉTRICA.

Como su nombre lo dice, es la capacidad que tiene un gas para ocupar la mayor cantidad de espacio sobre un área determinada. Comparándola en el área automotriz, es la capacidad de llenado que vamos a tener en el cilindro en el tiempo de admisión.

La cantidad de potencia que se gana por la mejora de flujo de aire depende de la eficiencia volumétrica del motor. Un motor con 60% de eficiencia volumétrica puede ser mejorado en mayor medida que uno con 90% de eficiencia.

Es posible calcular la eficiencia volumétrica con base en el caballaje, al número de revoluciones que nos eroga dicha potencia y con el cilindraje unitario, más 2 constantes para calcular en porcentajes.

Ecuación 4.2 Eficiencia Volumétrica

$$Eficiencia\ Volumétrica = \frac{5600 \times HP \times 100\%}{RPM \times CID}$$

$$Eficiencia\ Volumétrica = \frac{5600 \times 80 \times 100\%}{5500 \times 26,66}$$

$$Eficiencia\ Volumétrica = \frac{1492.960}{111.815}$$

$$Eficiencia\ Volumétrica = 13.35\%$$

Para aumentar la potencia de un motor, tanto debe ser incrementada la capacidad de flujo de aire como la carga de combustible – aire que debe ser quemada más efectivamente.

Tenemos niveles de mejoramiento de culatas, las mejoradas y las muy mejoradas, en las mejoradas prácticamente es la pulida de los ductos para obtener un efecto Venturi siempre esperado y para las muy mejoradas, vamos a necesitar de suelda para rellenar partes y conseguir un efecto más pronunciado.

Ahora de esto mucho dependerá también la necesidad del usuario para que el motor aguante una o un par de carreras, ya que el nivel de exigencia al motor es el máximo y debe estar necesariamente equipado con partes internas especiales.

4.3. FUENTES DE PÉRDIDA DE CARGA

Fricción de las paredes (superficie arenada), este efecto puede alcanzar hasta máximo una pérdida del 4%, ya que son partes en donde se puede mecanizar y su facilidad para hacerlo da para tener poco porcentaje de error.

Contracción en el conducto, este efecto puede alcanzar hasta un 2% de pérdida, si no se ha mecanizado bien su parte, el efecto venturi tiene más incidencia a la salida de la válvula, no tanto en su pasaje.

Curvatura de la guía de válvula, incide en un 11% si su parte no está mecanizada correctamente, cabe mencionar que las curvaturas deben ser rediseñadas, basándose en la técnica de que no deben existir curvas pronunciadas, más bien abiertas tanto en el radio interno como en el externo de la curvatura del conducto.

Expansión detrás de la guía de la válvula, la pérdida en este punto será del 4% ya que existen cabezotes que mantienen a su válvula exageradamente rígida con una guía muy pronunciada, para ello es importante ver la posibilidad del devastado.

Curvatura a la salida de la válvula, incide en un 17% ya que es la trayectoria que debe tomar el aire para ser expulsado desde el conducto a la cámara y si existe una curva demasiado cerrada entre la válvula y el asiento, este flujo se va a ver obstruido por mucha fricción.

Expansión a la salida de la válvula, es la mayor pérdida que se podría obtener si no se tiene el tipo de cámara ideal o mal mecanizado su trabajo, 31% de incidencia para el efecto esperado por la pulida de toberas.

Ya que hemos visto que la mayor incidencia de crear el efecto tiene a la salida de los gases de los ductos, justo en el punto de partida que lo controla la

válvula de admisión pues nos limita a tener en cuenta sobre los asientos de válvulas y las medidas de válvulas.

4.4 TRABAJOS EN ASIENTOS DE VÁLVULAS

Con respecto a los asientos de válvulas, existen ángulos los cuales según su medida controlan la hermeticidad, el enfriamiento y la guía de aire a través de la válvula. De su ancho van a depender básicamente sus funciones y así tenemos que un asiento ancho controlará la hermeticidad y el enfriamiento y un asiento más angosto controlará el flujo máximo de aire.

Para el asiento de admisión es importante que contenga muchos ángulos empezando en su corte, luego su asiento propiamente dicho o su punto de incidencia con la válvula y por último su corte interior.

Dichos ángulos son basados según pruebas en sus dimensiones tanto para el asiento de admisión como para el de escape y el ángulo esencial que manejará el tipo de flujo en altas o bajas RPM es el ángulo de incidencia con la válvula o el ángulo del asiento y así tenemos de 30 y 45 grados y el asiento flujará directamente proporcional al ángulo, mientras más alto el grado, mejor trabajo a altas RPM.

Cabe recalcar que el diámetro de la válvula debe coincidir con el diámetro exterior del asiento de 45 grados.

4.5 TRABAJOS EN VÁLVULAS

El diámetro de las válvulas dependerá del diámetro del cilindro y el tipo de cámara de combustión que ocupe el vehículo, así tenemos que un motor con cámara hemisférica deberá tener una relación en el diámetro de la válvula con el diámetro del cilindro de 1:0,57 y si tenemos una cámara de cuña, vamos a tener una relación de 1:0,52.

También debemos tener en cuenta que no siempre una válvula que sea más grande flujará mucho más que una pequeña, depende también de su diseño, y si tenemos por lo general vehículos de 16 válvulas donde suelen llevar 4 válvulas por cilindro, en este caso 2 de admisión y 2 de escape, pues la tendencia a mejorar es notoria pero se lo podrá asimilar a altas RPM.

Al trabajar en el tema válvulas, es indispensable también tener en cuenta sobre la holgura entre la válvula y cabeza del pistón o la alzada y el flujo; de este tema parte la siguiente relación alzada – diámetro, donde se deduce que en motores estándar la relación oscila entre 0: 25; y en motores preparados la intención es llegar a la relación de 0 : 30 ó 0 : 35.

Para alcanzar dichas relaciones dependeremos de los siguientes parámetros: mantener una distancia prudente entre la cabeza del pistón y el plato de la válvula, debe tener como mínimo una luz entre 1.50 y 2 mm aproximadamente, también dependerá de que la válvula contenga un diámetro muy cercano al máximo o si está montado un árbol de levas que tenga un flanco o ataque muy rápido y brusco.

Todas estas medidas y parámetros analizados son para prever que en una exigencia extrema o sobre-revoluciones no exista el golpe mecánico entre válvulas y pistones.

4.6 TRABAJOS EN PASAJE DE GASES

Al terminar la válvula el contacto con el asiento, comienza su proceso de ataque, el mismo que permite la expulsión o absorción de gases, teniendo en cuenta que la apertura total comanda la leva. Una vez calculada la sección del asiento de la válvula, se necesita de funciones trigonométricas para calcular la sección de pasaje de asiento por cada milímetro de recorrido de la válvula.

La función coseno tanto para el asiento de 30 grados, así como también para el asiento de 45 grados, se multiplica por el diámetro de la válvula y por $\pi = 3,1416$.

Al comienzo de la apertura de la válvula, el flujo va a ser controlado por el área de la válvula y el asiento, mientras se va abriendo más la válvula el flujo lo controlará la lumbrera de admisión.

Para cámaras de combustión de cuña, la capacidad de llenado será menor ya que el aire al salir por las toberas se encuentra con mucha obstrucción (curvaturas y recubrimientos), para su libre acceso hacia el cilindro.

La elevación de flujo de aire en admisión es directamente proporcional con la alzada y paso de la válvula de admisión.

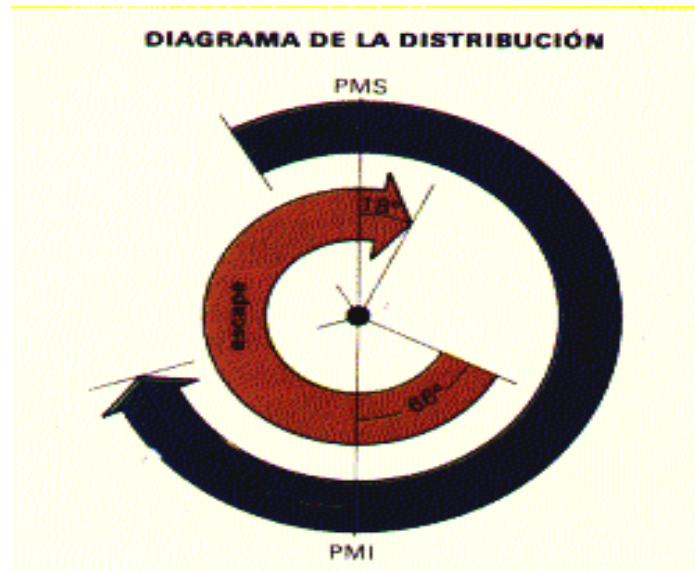
4.7 TRABAJOS EN EL EJE DE LEVAS

Las levas son las que van a comandar el tiempo y la permanencia que la válvula de admisión o escape permanecerá abierta, de ella depende su diseño como el flanco y su cúspide, donde si esta última es muy puntona, el ataque de la válvula será rápido, tal vez alto pero no permitirá o ayudará mucho con el llenado completo del cilindro.

La leva que otorga en su cúspide más tiempo o superficie de contacto con el vástago de la válvula será un plus para el llenado del cilindro donde se conseguirá tiempo de permanencia de la válvula abierta, permitiendo así un llenado más eficiente y efectivo del cilindro.

4.7.1 Como obtener el nombre de un árbol de levas

Figura 4. 3 Diagrama de Distribución



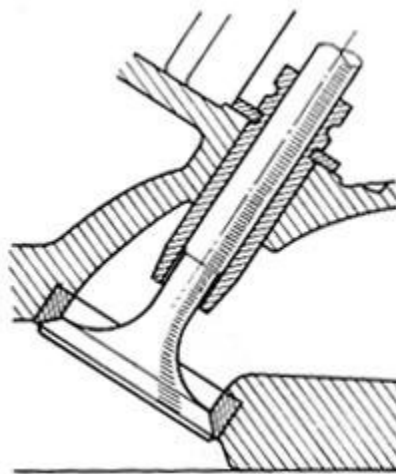
Una forma empírica de sacar el nombre de un árbol simétrico es midiendo el ángulo total de la duración de la admisión restando los 180° de enlace y al ángulo restante dividiéndolo en tres partes, repartiendo 1 parte para AAA y 2 partes para el RCA; procedemos igual para la válvula de escape donde 1 parte RCE y 2 para AAE

4.8. TRABAJOS EN GUÍAS DE VÁLVULA

En culatas estándar, la guía penetra en el espacio del ducto de admisión en un $\frac{1}{4}$ aproximadamente de la longitud total de la guía, ocasionando así pérdida en el flujo normal de la mezcla hacia el cilindro, siendo así la guía una pieza que obstruye y que no colabora para la potenciación de un motor, es por eso que los manuales comentan explican sobre la rebaja de material en las caras

externas de las guías, así como también otros preparadores consideran la rebaja completa de toda la sección de la guía ya que el resto de longitud es suficiente para asegurar el correcto accionamiento y perfecta ubicación central de la válvula en su vástago y cola.

Figura 4. 4 Guías de Válvulas



Generalmente, al elegir válvulas de mayor diámetro, nos hallamos con que el vástago o cola de éstas es también de mayor diámetro, lo cual supone reacondicionar las nuevas guías mandrinándolas o mecanizándolas a objeto de ajustarlas a las nuevas válvulas.

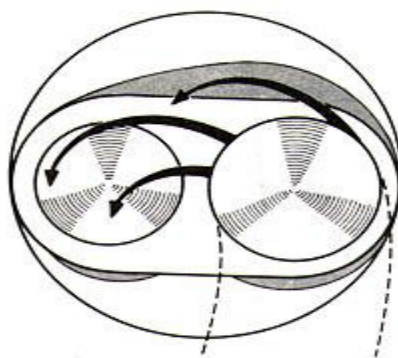
4.9. TRABAJOS EN LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN

En las cámaras que no sean esféricas, ya que tienen la mejor de las formas, antes de aumentar el índice de compresión se debe procurar dar una conformación esférica si fuere posible. En el caso contrario se deberá

redondear su contorno a fin de eliminar los llamados puntos calientes, ya que al comprimir con más fuerza los gases estos se calientan mucho más acumulándose este exceso de calor en esos puntos calientes o aristas de la cámara, provocando su inflamación anticipadamente y originándose el autoencendido o picado.

Además de los retoques en el conducto de admisión también hay que tener en cuenta posibles modificaciones en la misma cámara de combustión por medio de las cuales podamos aumentar los efectos de la turbulencia. En la próxima figura presentamos un caso en el que la zona rayada de la cámara resultante aporta una curva favorable para el desarrollo de la turbulencia, lo que hace que ésta se desarrolle en mejores condiciones y se mantenga incluso a mayor número de RPM, lo que proporciona una enorme elasticidad al motor por el aumento del momento de par.

Figura 4. 5 Cámara de Combustión



Cámara de combustión vista desde arriba, en la que se observan los recortes de material (tramado) que se han efectuado para potenciar la formación de turbulencias.

En la mayoría de cabezotes, la cámara de combustión es diseñada en base a la geometría de las válvulas, de ahí nace la necesidad de dar un retoque en la propia cámara para elevar la turbulencia del aire que va a ingresar, con esto se busca mejorar el completo llenado del cilindro.

Para identificar el completo llenado de cilindro, se debe calcular el torque máximo del motor por cilindraje unitario, 20,33 (SUZUKI FORSA 1) y debe estar entre un parámetro de 1.15 libras pies por la cilindrada unitaria. Y es posible con la cámara mejorada llegar a una buena sintonía entre el múltiple, los ductos y la cámara, alcanzando los 1.25 a 1.30 libras pies por la cilindrada unitaria.

Según el Torque máximo que eroga el motor con el cual estamos trabajando es de 120 N.m a 3500 RPM, esto convirtiéndolo a libras. pies nos da un total de 88.56 libras. pies.

Este es el torque total en libras. pies, como estamos calculando el torque unitario por cada cilindro, lo dividimos para 4 y tenemos que 22.14 es el torque unitario de cada cilindro.

Y para calcular la eficiencia de la cámara en la culata o cabezote lo dividimos para el desplazamiento del motor por pulgada cúbica y esto ya fue previamente calculado para lo que correspondía a Eficiencia Volumétrica y es de 22,33 en un cilindro.

Como total tenemos que la eficiencia de la Cámara de Combustión en el Motor Suzuki Forsa es de 1.08 y lo podríamos mejorar hasta los 1,5 a 3500 RPM que son las revoluciones donde uno tendrá el Torque máximo entre marcha y marcha, con una caja de cambios estándar.

Otra manera de evaluar la eficiencia de la cámara de combustión es por el avance al encendido que va a proceder a variar si tenemos una cámara bien diseñada, se generará turbulencia y a su vez una mejor propagación de la llama por toda la superficie de expansión, esto tendrá que ser tomado en cuenta en la modificación de este punto.

En otras palabras se reduce el tiempo entre el salto de la chispa y la combustión completa de la carga. La cámara más turbulenta quemará más rápidamente y producirá hasta el 10% más de la potencia para la misma carga inicial.

El tema de modificación en cámara de combustión no es una ciencia sino un arte, se debe determinar mediante ensayos la cantidad de flujo o como se está comportando el flujo dentro del ducto y al pasar por la cámara, para ello también nos ayuda el flujómetro de cabezotes.

4.10 REFUERZO DE LOS PERNOS DE CULATA

Si aumentamos la relación de compresión resulta que hemos aumentado proporcionalmente la presión interna de los cilindros. Esta presión se transmite

al bloque por medio de los pernos de fijación. Nos vemos por lo tanto obligados a aumentar el apriete de la culata solucionándolo, dando a los pernos una sección mayor. También se tendrá en cuenta el refuerzo de los pernos de fijación de los balancines, aunque el aumento de sección no será tan compensado como en los pernos de culata.

4.11 VELOCIDAD DE GASES

Teóricamente, la velocidad de los gases se puede calcular con base en los datos del motor. Donde necesitamos los siguientes:

Diámetro (mm)	- Válvula de Admisión
Angulo (Grados)	- Asiento
Distancia (mm)	- Alzada
Diámetro (mm)	- Vástago de la Válvula
Diámetro (mm)	- Conducto
Diámetro (mm)	- Pistón
Distancia (mm)	- Carrera
Revoluciones (RPM)	- Régimen del Motor Máximo

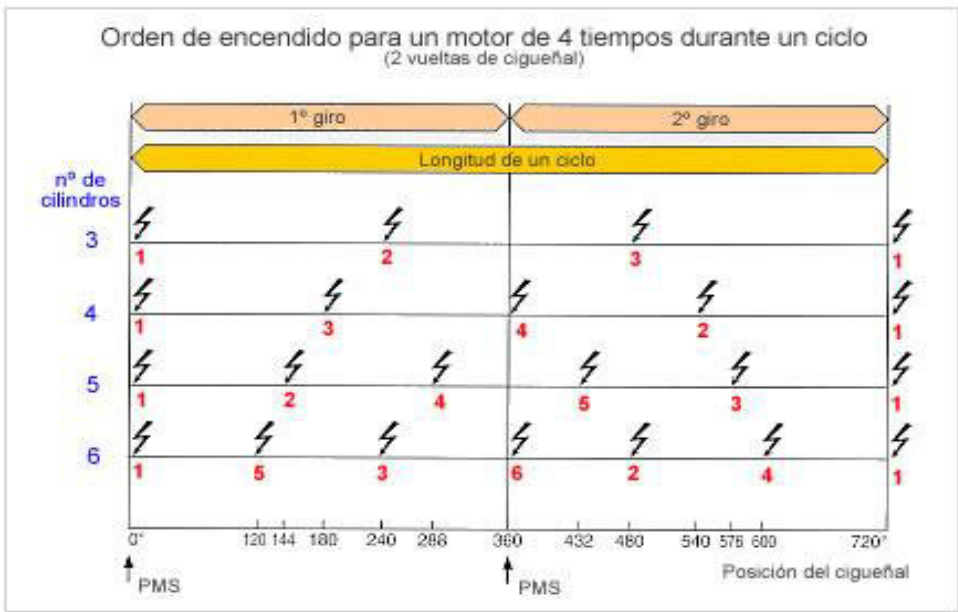
Una vez obtenidos todos estos datos netamente específicos de las características del motor, procedemos al cálculo de las diferentes velocidades.

Los cálculos realizados a los datos obtenidos en los ejercicios muestran un referencial de la velocidad de los gases para un vehículo con alimentación

individual (MPFI), puesto que no se estima una pérdida por el recorrido del múltiple de admisión, que tiene que hacer el gas en un TBI o alimentación general o múltiple, en este caso el múltiple de admisión se transforma en una cámara tranquilizadora ya que genera un constate cambio en la corriente de flujo de gases.

Para el cálculo de velocidades de gases de dicho sistema de alimentación, tendríamos que aumentar en el área del conducto o en la superficie del conducto el valor que nos otorgaría el siguiente calculo:

Tabla 4.3 Orden de Encendido Motor 4 Tiempos¹¹



En la tabla 4.3 se demuestra el ciclo teórico del motor OTTO de 3 o más cilindros, en este caso tomaremos el caso del motor de 3 cilindros ya que el Forsa 1 tiene ese sistema.

¹¹ Mecánica Virtual: Curso Rápido de Electricidad del Automóvil

Tabla 4.4 Orden de Encendido Motor 3 Cilindros

	180 GRADOS	180 GRADOS	180 GRADOS	180 GRADOS
1 CIL.	ADMISIÓN	COMPRESIÓN	EXPLOSIÓN	ESCAPE
2 CIL.	ESCAPE	ADMISIÓN	COMPRESIÓN	EXPLOSIÓN
3 CIL.	EXPLOSIÓN	ESCAPE	ADMISIÓN	COMPRESIÓN
	720 GRADOS DE GIRO DE CIGÜEÑAL O 2 VUELTAS			

Estos son los datos¹² de los grados de adelanto a las aperturas y cierre de válvulas tanto de admisión como de escape en un motor Suzuki G10 con:

- **Barra Preparada**

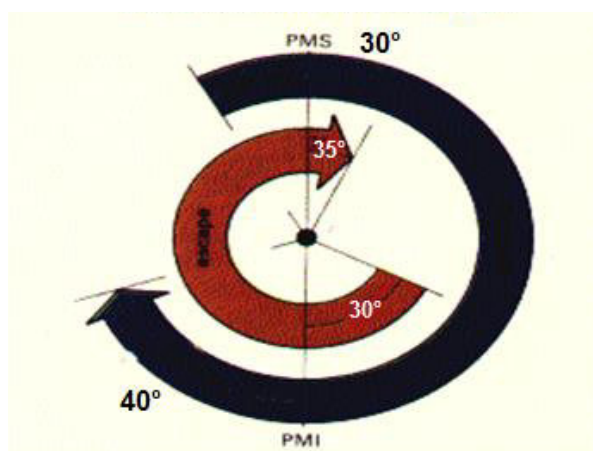
30 GRADOS – AAA ADELANTO APERTURA VALVULA DE ADMISION

40 GRADOS – RCA RETARDO AL CIERRE VALVULA DE ADMISION

30 GRADOS – AAE ADELANTO APERTURA VALVULA DE ESCAPE

35 GRADOS – RCE RETARDO AL CIERRE VALVULA DE ESCAPE

Figura 4. 6 Ángulos de Árbol de Levas Preparado



¹² Manual Suzuki 1991

- **Barra Estándar**

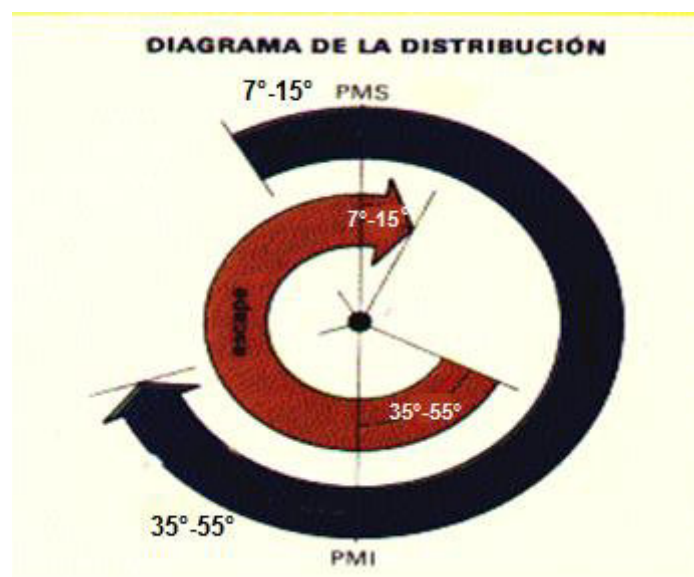
7 A 15 GRADOS – AAA ADELANTO APERTURA VALVULA DE ADMISION

35 A 55 GRADOS – RCA RETARDO AL CIERRE VALVULA DE ADMISION

35 A 55 GRADOS – AAE ADELANTO APERTURA VALVULA DE ESCAPE

7 A 15 GRADOS – RETARDO AL CIERRE VALVULA DE ESCAPE

Figura 4. 7 Ángulos de Árbol de Levas Estándar



Tiempo de admisión por cilindro:

Preparado = 30 + 180 + 35 = 245 GRADOS

Estándar (1) = 7 + 180 + 7 = 194 GRADOS

Estándar (2) = 15 + 180 + 15 = 210 GRADOS

CÁLCULO DE GRADOS:

CICLO DE 4 TIEMPOS = 720 GRADOS (GIRO DE CIGÜEÑAL)

TIEMPO DE ADMISION = 245 GRADOS

CICLO DE ADMISION DE 245 X 3 CILINDROS = 735 GRADOS

735 GRADOS – 720 GRADOS = 15 GRADOS

Los 15 GRADOS, representan el 2% del total del giro del ciclo del cigüeñal, por lo tanto una vez calculada el área del conducto, simplemente hay que sumarle el 2% más para obtener el área del múltiple.

4.12 TRABAJOS EN LAS TOBERAS DE ESCAPE

Con respecto a los ductos de escape, el análisis es muy distinto a lo que es admisión ya que no se va a necesitar restringir ningún paso de mezcla quemada ni que se generen turbulencias que actúen como freno. Lo fundamental es tratar de expulsar la cantidad más alta en el menor tiempo posible.

El trabajo a realizar, es ejecutar un re-diseño en el conducto de escape partiendo de el objetivo que es cavar una sección netamente cónica, a partir de la apertura de la válvula de escape hasta la unión entre el colector de escape y el múltiple

Una condición muy importante para mejorar la salida de los gases es contar con un ducto con curva que a su vez acelerará la expulsión, pero teniendo en cuenta que una salida directa cónica es la ideal.

El asiento de la válvula de escape debe también tener múltiples ángulos para un buen desfogue de gases y así tenemos que en sus tres tramos tanto en su corte, seguido por el asiento y en su corte interno, sus ángulos y sus tramos son limitados a 15 grados y 0,05" de ancho en su corte, a 45 grados y 0.060" de ancho en el asiento y a 75 grados y 0,10" de ancho.

La tendencia actual en motores de carrera es de mantener el flujo en el sistema de escape a 80% o 90% del flujo del sistema de admisión.

Investigaciones ratifican que de no existir un diámetro más grande en la válvula de escape comparada con la válvula de admisión, no existirá un aumento de potencia. Máximo un 60% el diámetro de la válvula de escape de un 100% de la válvula de admisión. Normalmente la válvula de escape es de 0,77 a 0,80 veces el tamaño de la válvula de admisión.

CAPÍTULO V

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA

En la realización de todo proyecto se debe considerar el aspecto económico, como el costo de la inversión y el tiempo en el que este valor podrá ser recuperado, para empezar a tener beneficios del proyecto realizado.

Para establecer el tiempo de retorno de la inversión se deben obtener los siguientes costos:

5.1 ANÁLISIS DE LOS COSTOS

El costo de todos los materiales que involucraron la construcción del flujómetro para cabezote, más el costo de la mano de obra que se necesitó para diseñar y ensamblar el proyecto, son los costos o gastos que se deben considerar, tanto para la elaboración como para el análisis económico financiero del proyecto.

En los materiales utilizados se deben citar todos los accesorios y estructuras o bases que se obtuvieron para el desarrollo de este proyecto, así como también la mano de obra utilizada tanto para el diseño en computadora y ensamblaje manual, que tiene que ver con los costos de honorarios de los operarios.

5.1.1 Análisis del Costo de Materiales

En la tabla 6.1 podemos apreciar una lista de todos los materiales que se utilizan para la realización de este proyecto.

Tabla 5.1 Tabla Costos Materiales

TABLA CONSUMOS DE MATERIALES			
CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL
2	Cabezotes.	150,00	300
2	Toles para mesa.	35,00	70
10	Perfiles para patas de mesa.	15,00	150
2	Rieles para adaptación conductos.	20,00	40
1	Perno para sujeción riel.	0,25	0,25
1	Tuerca para sujeción riel.	0,30	0,3
1	Rodela para sujeción riel.	0,05	0,05
1	Tubo largo de diámetro 30 mm	11,90	11,9
2	Acople tipo múltiple de admisión.	10,00	20
2	Empaque múltiple de admisión de amianto.	4,00	8
6	Pernos de sujeción múltiple de admisión.	3,50	21
1	Soplador marca Black and Decker.	66,18	66,18
1	Riel para adaptación Soplador.	15,00	15
1	Perfil para adaptación del soplador con el riel.	6,50	6,5
1	Perno de sujeción perfil – soplador.	0,50	0,5
1	Tubo de cobre 8mm de diámetro para tubo pitot.	8,50	8,5
1	Tubo de vidrio 8mm de diámetro para manómetro	20,00	20
1	Tabla triplex con formica blanca 550 x 600 mm.	20,00	20
2	Reglas graduadas.	2,00	4
1	Manguera 30mm de diámetro x 100mm de largo.	6,00	6
2	Abrazaderas	2,00	4
0,5	Litro de pintura	4,50	2,25
0,5	Litro de fondo	5,00	2,5
2	Pliegos de lija 460	1,25	2,5
2	Mangueras de 8mm de diámetro x 400mm (12m)	7,60	15,2
2	Tubo capilar de 500 mm	15,00	30
		SUBOTOTA	824,63
		IVA	98,96
		TOTAL	923,59

5.1.2 Análisis del Costo de Mano de Obra

En la tabla 6.2 podemos apreciar una lista los servicios profesionales y mano de obra necesaria para la realización de este proyecto.

Tabla 5.2 Tabla Costos Mano de Obra

TABLA MANO DE OBRA			
CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL
1	Diseño Grafico	80,00	80,00
1	Consulta Expertos	100,00	100,00
1	Contratacion Servicios Profesionales	350,00	350,00
1	Suelda	40,00	40,00
1	Pintura	60,00	60,00
1	Ensamblaje	50,00	50,00
1	Metal - Mecanica	60,00	60,00
1	Vidrieria	20,00	20,00
		SUBOTOTA	760,00
		IVA	91,20
		TOTAL	851,20

5.1.3. Análisis de la inversión

Tomando en cuenta los costos de mano de obra y materiales necesarios para la construcción de un flujómetro de culatas, se puede señalar que, la suma total es de USD 1731,89; un 50% menor que un flujómetro diseñado y construido en el extranjero, que bordea los USD 4.000, más gastos de logística; es por esta razón que la comercialización de este producto ensamblado y diseñado en nuestro país tendría ventajas económicas así como también de logística, asegurando igualar la calidad de los productos construidos fuera del Ecuador.

CAPÍTULO VI

6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL FLUJÓMETRO DE CULATAS

Después de lo estudiado en el Capítulo 2, es pertinente señalar que el tubo de Prandtl es el instrumento que se ajusta a las necesidades del proyecto, ya que con este se puede realizar las mediciones necesarias para el cálculo de la velocidad de entrada de aire a la cámara de combustión mediante la ecuación 6.1

Ecuación 6.1 Velocidad de corriente

$$v_{ot} = Cv \sqrt{\frac{2g(\rho_m - \rho)}{\rho}} l$$

Esta ecuación es fundamental para la realización del proyecto en curso, ya que ayudará a calcular y a analizar las variaciones de velocidad, tanto de entrada como de salida, con el soporte que brinda el tubo de pPrandtl y los manómetros diferenciales.

Cv : Coeficiente del tubo de Prandtl determinado experimentalmente (de 0,01 a 1,03), que dispuesto paralelamente a las líneas de flujo puede aproximarse a 1.

V_o : velocidad.

g : gravedad.

ρ_m : Densidad del manómetro diferencial.

ρ : Densidad del aire.

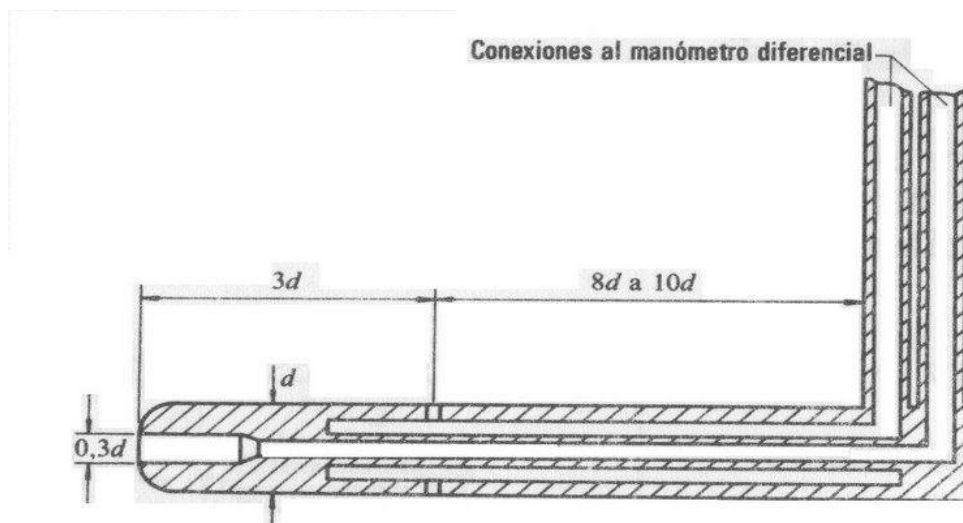
/: lectura manómetro diferencial.

Cabe señalar que el coeficiente se determinó experimentalmente comparando el tubo de Prandtl fabricado en este proyecto con un tubo de Prandtl de coeficiente conocido dando como resultado un 0,87 de coeficiente de velocidad.

6.1. DISEÑO DEL TUBO DE PRANDTL

“Para la realización y concepción del tubo de Prandtl es necesario tomar en cuenta la normalización dada por ASME”¹³ (figura 6.1).¹⁴

Figura 6. 1 Velocidad de corriente



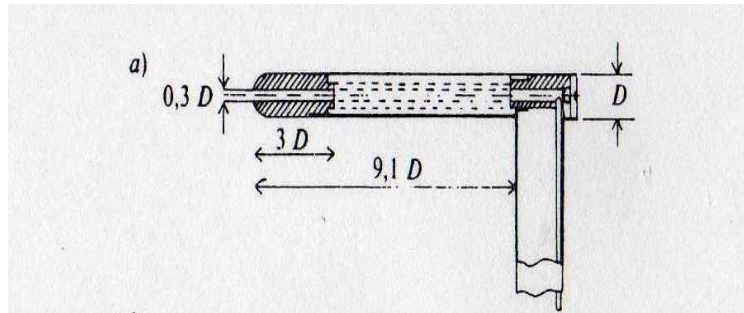
¹³ Anexos

¹⁴ MATAIX Claudio Mecánica de Fluidos

6.1.1. Diseño de la Cabeza del tubo de Prandtl

Para el diseño de la cabeza del tubo de Prandtl, se tomó lo expuesto a continuación en la figura 5.2

Figura 6. 2 Tubo Prandtl



D: Diámetro.

La cabeza semiesférica por su forma, permite perturbar lo menos posible el flujo de entrada de aire y al mismo tiempo ofrece una sensibilidad mayor a diferencia de las otras cabezas analizadas en el Capítulo 2.

Fotografía 6.1 Tubo Prandtl



6.1.2. Construcción de manómetros diferenciales

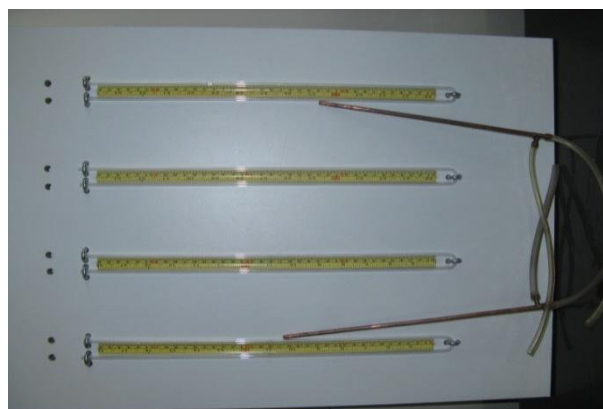
Para construir los manómetros diferenciales fue necesario doblar tubos de vidrio con especificaciones en los planos, con el propósito de lograr la medición de la diferencia de alturas provocada por la diferencia de presiones que existe entre el flujo estacionario y el flujo total dentro de la tubería.

Los manómetros diferenciales se conectan a los tubos de Prandtl mediante mangueras de 7 mm de diámetro.

Fotografía 6.2 Tubo Prandtl

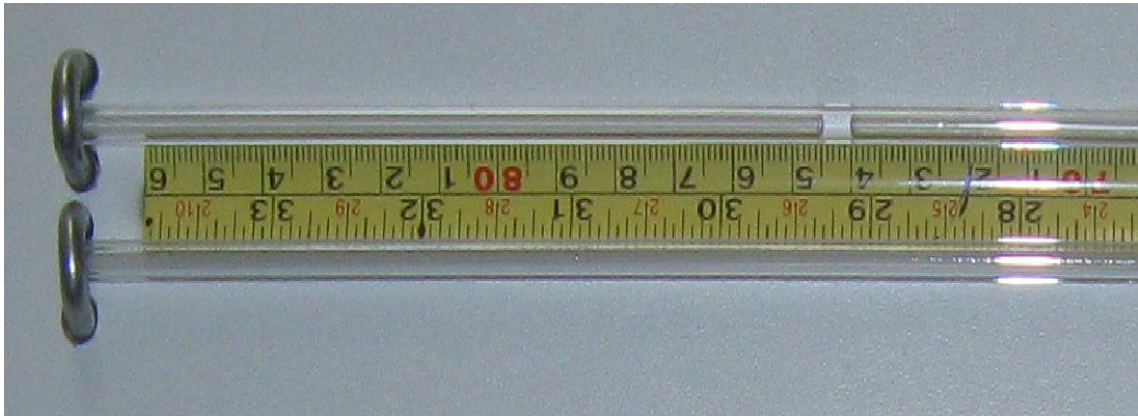


Fotografía 6.3 Manómetros Diferenciales



Para medir la diferencia de alturas se dispuso la utilización de graduación en mm con fondo amarillo para lograr una óptima visión de la lectura arrojada por los manómetros diferenciales.

Fotografía 6.4 Escala Manómetro



6.2. CONSTRUCCIÓN DE ACOPLES Y TUBOS

6.2.1. Acoples para aire de entrada

Los acoples fueron contruidos en base al múltiple de admisión original de un motor de Suzuki Forza, y para lograr una correcta estanqueidad se manufacturaron empaque de amianto a medida.

Se dispuso un sistema de conexión a base de abrazaderas para lograr que el aire emitido por el soplador sea canalizado a la tobera de admisión.

6.2.2. Tubo de recolección de aire a la salida de la tobera de admisión

Para aprovechar los acoples se dispuso un sistema articulado y desplazable transversalmente para el tubo de salida de aire logrando una gran movilidad para una adecuada junta entre culata y tubo.

Fotografía 6.5 Banco de Pruebas



6.3 COMPRESOR ELÉCTRICO DE AIRE

Para simular la velocidad del aire que ingresa a la tobera de admisión se utilizó un compresor de aire eléctrico, cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Potencia.	600w.
Velocidad sin Carga.	0-16000 RPM.
Volumen de aire.	$3,5 \frac{m^3}{min}$
Largo de cable.	2m.
Interruptor de bloqueo.	
Interruptor de velocidades variables.	

Figura 6. 3 Soplador



6.4. CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE PARA EL FLUJÓMETRO DE CULATAS

“Ergonómicamente el plano donde se asentarán los instrumentos de medición y la culata, debe tener una altura de 1m”¹⁵ para facilitar el manejo y la observación del trabajo desplegado por el flujómetro de culatas.

Los 4 perfiles utilizados como soporte del tablero donde estará montado los tubos de prandtl, acoples, tomas de aire y cabezote, son de 1 pulgada y ½, suficiente para soportar 100 kg de peso (probado experimentalmente).

¹⁵ HERNÁNDEZ Javier; Ergonomía

El conjunto de flujómetro y culata llegan a 50 kg lo que abala la seguridad para el uso del proyecto llegando a un 200%.

La lámina de acero inoxidable en la cual se asentara todo el flujómetro mas el cabezote, tiene propiedades anti-corrosivas las gracias a las aleaciones con cromo y wolframio dentro de sus componentes. Disipadores de que la corrocion afecte el hierro.

Para contrarrestar algún tipo de presencia corrosiva una vez teniendo como base el acero inoxidable, se preparó la mesa comenzando con un wash-primer o capa fosfatizante o inhibidor de oxidación ya que el objetivo de esto es acondicionar a la pieza para que tenga buena adherencia con el fondo, pintura y barniz.

Fotografía 6.6 Banco de Pruebas



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El flujómetro de culatas es un equipo necesario en cualquier taller mecánico especializado en trucaje de motores de competición, ya que gracias a éste, se podrían calcular y cuantificar las mejoras que se realicen a un cabezote o culata, en lo referente al trabajo en toberas de admisión.
- Para la construcción de la cabeza del tubo de Prandtl fue necesario realizar pruebas comparativas para emplear la que produzca una menor resistencia y por ende menor turbulencia, lo que garantiza una medición precisa.
- El comportamiento de un fluido dentro de una tubería puede variar con respecto a la temperatura y viscosidad ciertamente volviéndose impredecible al llegar a cierta velocidad calculada por el número de Reynolds.

RECOMENDACIONES

- Para la construcción de una mesa de trabajo es necesario el estudio ergonómico para facilitar la utilización y observación del trabajo realizado por el flujómetro de culatas.
- Para Trabajar un cabezote se debe tomar en cuenta que un devastado exagerado no garantiza el aumento de la velocidad del aire, por el contrario se puede producir una turbulencia que disminuye la velocidad del aire al pasar por las toberas de admisión.
- Para los profesionales del mundo automotriz interesados en trucar motores de competición, el flujómetro de culatas es un equipo necesario para la culminación de un trabajo de ingeniería bien logrado.

GLOSARIO

- **VVTi:** El sistema de Toyota VVT-i substituye el Toyota VVT ofrecido a inicios de 1991 con el motor 4A-GE 20-Válvulas. El sistema de VVT es una leva controlada hidráulicamente en dos etapas que pone en fase el sistema. VVT-i, introducido en 1996, varía la sincronización de las válvulas del producto ajustando la relación entre la impulsión del árbol de levas (correa, tijeras-engranaje o cadena) y el árbol de levas del producto. La presión del aceite de motor se aplica a un actuador para ajustar la posición del árbol de levas.
- **VTEC:** El mecanismo está controlado por un sistema electrónico que se encarga de regular la variación de la apertura de las válvulas según sea necesario, de esta forma se alarga el recorrido de apertura de las válvulas con tal de aumentar la entrega de potencia y se limita para contener el consumo de combustible, de forma variable.
- **VANOS:** El conjunto de piezas que forman la "distribución" se encargan de mover las válvulas de forma sincronizada con el cigüeñal para que abran y cierren cuando deben. En los motores sin distribución variable este sincronismo es fijo, o sea, que las válvulas siempre abren y cierran en el mismo instante con respecto a la posición del pistón, siempre que el pistón llega a una determinada posición la válvula abre, siempre que pasa por otra la válvula cierra, da igual que r.p.m. lleve el motor, siempre se produce en el mismo momento.

- **DIS:** Sistema que controla el salto de chispa electrónicamente.
- **ECM:** Memoria central electrónica que controla el sistema de inyección de un automóvil.
- **PMI:** Punto Muerto Inferior.
- **PMS:** Punto Muerto Superior.
- **RENDIMIENTO VOLUMETRICO:** Es la diferencia entre el volumen total del cilindro versus el volumen de aire que logra ingresar al cilindro en la carrera de admisión cuando el bulón viaja desde el PMS hasta el PMI.
- **SISTEMA COSTWORTH:** Proceso de fundición que se realiza para lograr un altísimo acabado y una fuerte cohesión molecular.
- **SUT – SYSTEM UNDER TEST (SISTEMA BAJO PRUEBA).**
- **ESTRUCTURA PERLITICA:** En los sólidos cristalinos los átomos se colocan según un modelo ordenado y reiterativo, que contrasta con la distribución al azar y desordenado de los materiales amorfos y no cristalinos. Los átomos se representan como esferas rígidas y la estructura cristalina del sólido es la disposición espacial de estas esferas.

La mayoría de los materiales cristalizan en CC, CCC o HC. Dos características de la estructura cristalina son el número de coordinación (número de átomos vecinos más próximos) y el factor de empaquetamiento atómico, ya que ambas estructuras se generan por el apilamiento de planos compactos de átomos.

- **ESTEQUIOMETRICA:** En una reacción química se observa una modificación de las sustancias presentes: los reactivos se consumen para dar lugar a los productos.

A escala microscópica, la reacción química es una modificación de los enlaces entre átomos, por desplazamientos de electrones: unos enlaces se rompen y otros se forman, *pero los átomos implicados se conservan*.

Esto es lo que llamamos la *ley de conservación de la masa*, que implica las dos leyes siguientes:

- La conservación del número de átomos de cada elemento químico.
- La conservación de la carga total.

Las relaciones estequiométrica entre las cantidades de reactivos consumidos y productos formados dependen directamente de estas leyes de conservación, y están determinadas por la ecuación (ajustada) de la reacción.

- **ESTANQUEIDAD:** Hermetismo en la unión de dos superficies planas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ZEMANSKY M & SEARS F; Física; Aguilar; Madrid (España); 1969.
2. MATAIX Claudio; Mecánica de Fluidos.
3. COELLO Efrén; Sistema de Inyección electrónica de Gasolina; Ediciones América; Quito-Ecuador; 2006.
4. ALONSO J.M; Técnicas del Automóvil; Paraninfo; España; 2000.
5. Manual Ceac del Automovil;Grupo editorial Ceac; Barcelona (España); 2002.
6. www.automecánica.com
7. www.electriauto.com
8. Preparación de Motores de Competición; Instituto Tecnológico de Motores; Argentina; 2004.
9. Manual Flujometro Saenz.
10. Manual Trucaje de Motores ESPE.
11. SHAMES Irving; Mecánica de fluidos.
12. CANO Rodrigo; Flujo en tuberías y canales.
13. VERNARD J.K, Elementos de Mecánica de Fluidos

ANEXOS