



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

**MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON  
MODIFICACIONES MECÁNICAS PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO**

**Abner Romeo Aguilar Mejia**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON  
MODIFICACIONES MECÁNICAS PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ABNER ROMEO AGUILAR MEJIA**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON MODIFICACIONES MECÁNICAS PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 10 de enero de 2018.



**Abner Romeo Aguilar Mejia**

Guatemala, 20 de marzo de 2018

Ingeniero  
Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director Escuela Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
USAC.

Ingeniero Pérez:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he llevado a cabo la revisión final del trabajo de graduación titulado **"MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON MODIFICACIONES PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO"** elaborado por el estudiante Abner Romeo Aguilar Mejía quien se identifica con documento único de identificación 2565017180117 y registro académico 199712660.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y objetivos iniciales planteados y considero que cumple con todos los requisitos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Sin otro particular, atentamente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 3071

Guatemala, abril 2018



Ing. Roberto Guzman Ortiz  
Coordinador Area Termica  
Escuela de Ingenieria Mecanica

..Id y Enseñad a Todos..

El Coordinador del Area Termica de la Escuela de Ingenieria Mecanica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON MODIFICACIONES MECANICAS PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO** desarrollado por el estudiante **Abner Romeo Aguilar Mejia**, CUI 2565017180117 y Reg. Académico No. 199712660 recomienda su aprobación.

Ref.E.I.M.098.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON MODIFICACIONES MECÁNICAS PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO** desarrollado por el estudiante **Abner Romeo Aguilar Mejia**, CUI **2565017180117** y Reg. Académico No. **199712660** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala abril de 2018

/aej

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

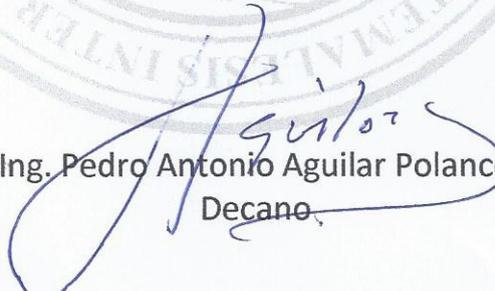


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 127.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MEJORA DE UN MOTOR CICLO OTTO NORMAL ASPIRADO CON MODIFICACIONES MECÁNICAS PARA ALCANZAR ALTO DESEMPEÑO**, presentado por el estudiante universitario: **Abner Romeo Aguilar Mejía**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, abril de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Sobre todas las cosas.
<b>Mis padres</b>	María Luisa Mejía Sierra, por su apoyo incondicional, y Carlos Romeo Aguilar Estrada, que me acompañaste desde el cielo.
<b>Mi esposa</b>	Evelyn Carrillo, por su apoyo y amor incondicional.
<b>Mi hija</b>	Montserrat, por inspirarme y ser mi ángel de la guarda.
<b>Mis hermanos</b>	Artemisa, Polemarco y Sebastian Aguilar Mejía, por creer en mí.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mi madrecita</b>	por su apoyo incondicional, por creer en mí, por su infinito amor.
<b>Mi familia</b>	Por todo el apoyo y amor que me han dado a lo largo de mi vida y por creer en mí.
<b>Mis catedráticos de la Escuela de Ingeniería Mecánica</b>	Por el apoyo y la motivación que cada uno me brindó en los cursos de la carrera.
<b>Mis compañeros de la Escuela de Ingeniería Mecánica</b>	A todos mis amigos de la facultad con quienes vivimos momentos muy alegres y difíciles, con quienes compartí esa etapa de mi vida que marcó nuestro futuro y nos hizo personas honorables.
<b>Mis amigos del alma</b>	Romin Pacheco, Juan Pacheco, Carlos Moncada, Manuel Ávila, Sergio Argueta, Luis Pedro Vassaux, Víctor Blanco, Luis De Leon, Eduardo Blanco, Jose Morales, Felipe Morales.
<b>Andrea Rodas</b>	Por apoyarme, motivarme y por su sincera amistad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. CONCEPTOS BÁSICOS .....	1
1.1. Motor de combustión interna ciclo Otto .....	1
1.2. Tiempo de admisión.....	1
1.3. Tiempo de compresión .....	2
1.4. Tiempo de expansión o trabajo .....	2
1.5. Tiempo de escape .....	2
1.6. Diagrama de presión volumétrica del ciclo Otto .....	3
2. MEDICIONES Y CÁLCULOS FUNDAMENTALES PARA IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR.....	5
2.1. Instrumentos requeridos para la puesta a punto de un motor .....	5
2.2. Cálculos fundamentales para la modificación de un motor.....	6
2.2.1. Medición y cálculo del desplazamiento de un motor.....	7
2.2.2. Medición y cálculo de la relación de compresión de un motor.....	8

2.2.2.1.	Cálculo de relación de compresión por método de medición de componentes.....	9
2.2.2.2.	Cálculo de relación de compresión por medio del llenado del volumen de la cámara de combustión con líquido viscoso.....	10
2.2.3.	Cálculo de la velocidad lineal del pistón.....	10
2.2.4.	Cálculo de capacidad volumétrica teórica de un motor.....	11
2.2.5.	Cálculo de potencia de un motor.....	13
2.3.	El dinamómetro.....	13
3.	CABEZA O CULATA.....	17
3.1.	Aspectos técnicos de cabezas según su configuración.....	17
3.1.1.	Culatas de flujo unilateral.....	18
3.1.2.	Culatas de flujo cruzado.....	19
3.1.3.	Configuración según el número de válvulas y árboles de levas.....	20
3.2.	Flujo volumétrico y los portes de admisión y de escape de una culata.....	23
3.3.	Cámara de combustión.....	26
3.4.	Válvulas de admisión y válvulas de escape.....	29
3.4.1.	Dimensiones de las válvulas.....	32
3.4.2.	Asientos de válvulas.....	32
3.4.3.	Guías de válvulas.....	33
3.5.	Árbol de levas.....	34
3.5.1.	Constitución.....	34
3.5.2.	Perfil de las levas.....	35

3.5.3.	Modificación de un árbol de levas .....	38
4.	EL CIGÜEÑAL .....	45
4.1.	Características de un cigüeñal .....	45
4.2.	Componentes del conjunto cigüeñal.....	47
4.2.1.	Cojinetes de bancada y biela .....	48
4.2.1.1.	Ranuras de lubricación.....	50
4.2.1.2.	Cojinetes axiales .....	50
4.2.2.	Volante de inercia .....	51
4.2.3.	Mediciones importantes de conjunto de cigüeñal y cojinetes para un motor modificado.....	52
4.3.	Alivianado y balanceo de cigüeñal .....	55
5.	CILINDRO, PISTÓN Y BIELA.....	59
5.1.	Características de un pistón .....	59
5.2.	Selección del tipo de pistón según el requerimiento para la modificación .....	61
5.3.	Cálculo de relación de longitud de la biela y altura del bulón del pistón.....	63
5.4.	Selección de biela.....	65
5.5.	Maquinado y acabado del cilindro .....	67
6.	PRUEBA FINAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ANTES Y DESPUÉS DE LA MODIFICACIÓN.....	71
6.1.	Prueba práctica en dinamómetro.....	71
6.2.	Puesta a punto .....	71
6.3.	Análisis de la gráfica: potencia versus fuerza par .....	72
6.4.	Caso práctico .....	73

CONCLUSIONES..... 77  
RECOMENDACIONES ..... 79  
BIBLIOGRAFÍA..... 81

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Diagrama del ciclo Otto ideal.....	3
2.	Ilustración de conjunto de cilindro, pistón y cámara de combustión.....	8
3.	Culata con portes de flujo lateral.....	19
4.	Culata de flujo cruzado.....	20
5.	Distribución de válvulas en cámara de combustión.....	21
6.	Distintas configuraciones de culatas y árbol de levas.....	23
7.	Banco de flujo para prueba de flujo de culatas.....	24
8.	Una culata antes y después de ser modificada.....	26
9.	Válvulas de admisión y de escape.....	29
10.	Diseño básico de una válvula.....	30
11.	Características físicas de una válvula.....	31
12.	Composición de componentes de una culata.....	33
13.	Perfil y diseño de una leva.....	35
14.	Secuencia de levas e identificación de traslape valvular.....	37
15.	Diagrama de distribución de un árbol de levas.....	38
16.	Árboles de levas de diferente geometría para un motor.....	40
17.	Rueda transportadora para 360 grados.....	40
18.	PMS real de un motor.....	41
19.	Ajuste de un árbol de levas.....	42
20.	Rueda transportadora en el cigüeñal.....	42
21.	Ficha técnica de un árbol de levas.....	43
22.	Cigüeñal de motor de cuatro cilindros.....	46
23.	Elementos móviles de un motor.....	47

24.	Descripción de un cojinete de motor .....	49
25.	Características de un cojinete .....	50
26.	Cojinetes axiales.....	51
27.	Descripción de un volante de motor .....	52
28.	Medición de holguras de cigüeñal .....	54
29.	Cigüeñal antes y después de alivianar y volante de inercia .....	56
30.	Balance dinámico de cigüeñal de motor .....	57
31.	Componentes de un pistón.....	60
32.	Pistones de diferentes relaciones de compresión.....	62
33.	Diferencia de bielas y pistones para un mismo motor .....	64
34.	Tipos comunes de perfil de construcción de bielas .....	65
35.	Verificación del peso de conjunto de bielas .....	66
36.	Conjunto de bielas y pistones especiales .....	66
37.	Patron de bruñido .....	68
38.	Plancha simuladora de culata para bruñido de cilindros.....	68
39.	Distorsión de un cilindro por el apriete de la culata .....	69
40.	Prueba inicial de dinamómetro .....	73
41.	Prueba de motor modificado en dinamómetro .....	74
42.	Comparación de prueba inicial y resultado final en dinamómetro .....	75

## TABLAS

I.	Descripción secuencial del ciclo Otto .....	4
II.	Herramientas de precisión necesarias para desarrollar un motor de alto desempeño .....	5
III.	Tolerancia de holguras entre cigüeñal y cojinetes .....	54

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>CV</i>	Capacidad volumétrica en $m^3/min$
<i>CV'</i>	Capacidad volumétrica real en $m^3/min$
<i>C</i>	Carrera de pistón en mm
<i>E</i>	Coeficiente de volumétrico de llenado
<i>D</i>	Desplazamiento de $cm^3$
<i>d</i>	Diámetro de cilindro en cm
<i>T</i>	Fuerza par o torque en $Kgmf * m$
<i>L<sub>b</sub></i>	Largo de biela en mm
<i>N<sub>cil</sub></i>	Número de cilindros de motor
<i>%</i>	Porcentaje
<b>PMI</b>	Punto muerto inferior
<b>PMS</b>	Punto muerto superior
<i>γ</i>	Relación de biela, adimensional
<i>RC</i>	Relaciones de compresión
<i>Rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>V<sub>p</sub></i>	Velocidad lineal de pistón en $m/s$
<i>V<sub>c</sub></i>	Volumen de cámara de combustión en $cm^3$
<i>V<sub>cil</sub></i>	Volumen de cilindro en $cm^3$
<i>V<sub>h</sub></i>	Volumen de diferencia de altura entre corona y parte superior de motor
<i>V<sub>d</sub></i>	Volumen de domo de pistón en $cm^3$
<i>V<sub>e</sub></i>	Volumen de empaque de culata



## GLOSARIO

<b>Alesómetro</b>	Es un aditamento para un reloj comparador para medir diámetros internos de cilindros.
<b>Balanza</b>	Verifica el peso de los componentes rotativos y reciprocantes con el fin de estandarizar e igualar sus pesos.
<b>Base magnética</b>	Fija el reloj comparador.
<b>Calibrador de hojas</b>	Mide holguras.
<b>Cepillo de limpieza</b>	Limpia los conductos de lubricación de un motor.
<b>Cera para medición de holguras</b>	Mide holguras entre un eje y una bancada.
<b>Ciclo Otto</b>	Es el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado por una chispa eléctrica (motores de gasolina, etanol, gases derivados del petróleo u otras sustancias altamente volátiles e inflamables).
<b>Lámpara estroboscópica</b>	Ajusta el tiempo de encendido de un motor.

<b>Manómetros</b>	Mide presiones de aceite, combustible y monitorear las posibles fugas de un sistema.
<b>Micrómetro</b>	Mide espesores.
<b>Reloj comparador</b>	Mide y compara lecturas, juegos axiales.
<b>Rueda transportadora</b>	Asegura que el punto muerto superior de un cilindro esté correctamente ajustado y para seguir el posicionamiento correcto de un eje de levas.
<b>Torquímetro</b>	Aplica el par de apriete a los pernos y tuercas que se instalan en un motor.
<b>Vernier</b>	Toma medidas de referencia de cualquier diámetro interno, externo y profundidad.

## RESUMEN

En este trabajo se describen las modificaciones más importantes con las que se puede lograr la mejora del desempeño de un motor ciclo Otto, para las cuales se especifica una serie de cálculos y mediciones que deben efectuarse antes y al momento de realizar las modificaciones.

Es necesario contar con una serie de herramientas y el conocimiento para hacer su correcta utilización para obtener referencias precisas ya que de las mediciones y cálculos dependerá el resultado de la modificación y también la confiabilidad del motor modificado.

La documentación de cálculos, resultados, mediciones y fotografías juega un papel muy importante dado que se puede contar con una referencia del resultado que se ha logrado y poderlo replicar en motores semejantes.

Finalmente, las pruebas finales de campo en el dinamómetro que permiten realizar los ajustes finales en el motor para alcanzar la potencia y fuerza satisfactoria.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un estudio técnico para mejorar el desempeño de un motor de combustión interna de ciclo Otto.

## Específicos

1. Definir los principios básicos para el análisis y desarrollo de las modificaciones posibles.
2. Definir las fórmulas especiales para los cálculos necesarios a realizar las pruebas respectivas previas a la modificación para obtener los parámetros comparativos de antes y después de las modificaciones.
3. Comprobar el resultado de las modificaciones mediante una sesión de dinamómetro.



## INTRODUCCIÓN

En este documento se encuentra una recopilación de información extraída de diversos libros y otras fuentes para entender los efectos de las modificaciones de dimensiones, las capacidades de los motores de ciclo Otto y la realización de pruebas de medición reales antes y después de realizadas las modificaciones aplicado con grandes resultados; se demuestra que no únicamente se puede lograr una mejora en los motores reemplazando partes sino también ajustando ciertos valores de las mismas piezas que conforman al motor para obtener una diferencia de entrega de potencia mejorada.



# **1. CONCEPTOS BÁSICOS**

## **1.1. Motor de combustión interna ciclo Otto**

El ciclo Otto es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes de encendido por chispa. Recibe ese nombre en honor a Nikolaus A. Otto, quien en 1876, en Alemania, construyó una exitosa máquina de cuatro tiempos utilizando el ciclo propuesto por el francés Beau de Rochas en 1862. En la mayoría de las máquinas de encendido por chispa el émbolo ejecuta cuatro tiempos completos (dos revoluciones) dentro del cilindro, y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. Estas máquinas son llamadas máquinas de combustión interna de cuatro tiempos.

Los cuatro tiempos son definidos como: tiempo de admisión, tiempo de compresión, tiempo de explosión y tiempo de escape, para los cuales es necesario ejecutar dos ciclos mecánicos o dos revoluciones.

## **1.2. Tiempo de admisión**

El tiempo de admisión inicia justo al momento cuando el pistón inicia su trayectoria del PMS (punto muerto superior), hacia el PMI (punto muerto inferior), llevándose a cabo simultáneamente la apertura gradual de la válvula de admisión a través del mecanismo del eje de levas y en conjunto con la introducción del aire de carga mezclado con el combustible; este proceso se lleva a cabo a presión constante atmosférica. En este punto el cilindro es llenado en su totalidad con aire y combustible.

### **1.3. Tiempo de compresión**

El tiempo de compresión comprende dos etapas en las que la compresión inicia al momento en el que la válvula de admisión se cierra y el pistón inicia su trayectoria del PMI, hacia el PMS y justo al llegar al PMS se origina la chispa por medio de una bujía, la cual hace que la mezcla de aire y combustible se caliente de tal manera que a volumen constante elevando la presión justo antes de iniciar la trayectoria hacia el PMI, esta segunda etapa es llamada combustión. Por tanto, el tiempo de compresión cuenta con dos etapas.

### **1.4. Tiempo de expansión o trabajo**

El tiempo de expansión o trabajo inicia en el PMS cuando el pistón inicia su descenso hacia el PMI cuando se expande la mezcla de aire y combustible a una alta temperatura luego de la explosión ocasionada por la chispa llenando el cilindro en su totalidad de gases de combustión.

### **1.5. Tiempo de escape**

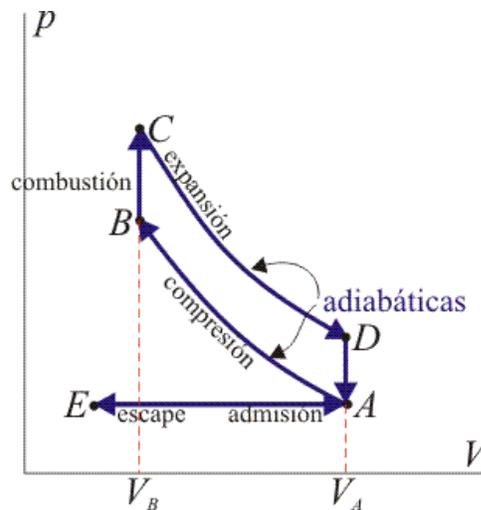
El tiempo de escape inicia en el momento cuando el pistón alcanza el PMI luego de efectuado el trabajo de la expansión; el pistón inicia su recorrido hacia el PMS y simultáneamente inicia la apertura de la válvula de escape gradualmente durante su trayectoria hacia arriba para evacuar los gases de la combustión y limpiar la cámara del cilindro; la válvula de escape se cierra justo al momento de llegar al PMS y se reinicia el ciclo.

## 1.6. Diagrama de presión volumétrica del ciclo Otto

En la figura 1 del diagrama de ciclo Otto ideal, se identifican los cuatro tiempos que componen el ciclo de dos vueltas completas, del cigüeñal en un cilindro, tal y como se especifica en la tabla I.

En la tabla I, se observa la diferencia de las curvas suavizadas del ciclo real ilustrado; en el mismo se pueden observar los ajustes del tiempo de ignición de la chispa, el tiempo de apertura de las válvulas, según el ajuste del eje de levas; así como el traslape que existe entre las válvulas de admisión y de escape al finalizar el cuarto tiempo, instantes previos al inicio del tiempo de admisión que ejerce la función de desalojo y limpieza del cilindro previo a la admisión, para que la mezcla sea menos contaminada por los gases producidos por el ciclo anterior.

Figura 1. Diagrama del ciclo Otto ideal



Fuente: *Ciclo Otto ideal*. [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo\\_Otto](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Otto). Consulta: 14 de septiembre de 2017.

Tabla I. **Descripción secuencial del ciclo Otto**

<b>Descripción de secuencia de los 4 tiempos del ciclo Otto ideal</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Descripción</b>
<b>E → A</b>	Admisión a volumen variable y presión constante
<b>A → B</b>	Compresión
<b>B → C</b>	Chispa y combustión a volumen constante, aumento de presión máxima
<b>C → D</b>	Expansión o trabajo
<b>D → E</b>	Escape de gases

Fuente: elaboración propia.

## 2. MEDICIONES Y CÁLCULOS FUNDAMENTALES PARA IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR

### 2.1. Instrumentos requeridos para la puesta a punto de un motor

Es muy importante contar con ciertos instrumentos de medición y ajuste de alta precisión para el armado, ajuste y puesta a punto de un motor, dado que las holguras entre las piezas que lo componen son muy cerradas y precisas en las especificaciones de cada fabricante y sobre todo cuando se desean realizar modificaciones mecánicas para mejorar el desempeño de los motores.

En la tabla II, se especifica un listado de herramientas de precisión necesarias para realizar los ajustes y las mediciones de todos los componentes de un motor.

Tabla II. **Herramientas de precisión necesarias para desarrollar un motor de alto desempeño**

Herramienta	Descripción
Micrómetro	Se utiliza para medir espesores.
Calibrador de hojas	Se utiliza para medir holguras.
Reloj comparador	Se utiliza para medir y comparar lecturas, juegos axiales.
Base magnética	Se utiliza para fijar el reloj comparador.
Alesómetro	Es un aditamento para un reloj comparador para medir diámetros internos de cilindros.
Vernier	Se utiliza para tomar medidas de referencia de cualquier diámetro interno, externo y profundidad.

Continuación de la tabla II.

<b>Torquímetro</b>	Se utiliza para aplicar el par de apriete a los pernos y tuercas que se instalan en un motor.
<b>Manómetros</b>	Se utilizan para medir, presiones de aceite, combustible y monitorear las posibles fugas de un sistema.
<b>Lámpara estroboscópica</b>	Se utiliza para ajustar el tiempo de encendido de un motor.
<b>Cepillos de limpieza</b>	Se utilizan específicamente para limpiar los conductos de lubricación de un motor.
<b>Cera para medición de holguras</b>	Se utiliza para medir holguras entre un eje y una bancada.
<b>Rueda transportadora</b>	Se utiliza para asegurar que el punto muerto superior de un cilindro este correctamente ajustado y para asegurar el posicionamiento correcto de un eje de levas.
<b>Balanza</b>	Se utiliza para verificar el peso de los componentes rotativos y reciprocantes con el fin de estandarizar e igualar los pesos de los mismos.

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. Cálculos fundamentales para la modificación de un motor

Es sumamente importante conocer las características físicas actuales del motor que se desea modificar con el fin de identificar las limitaciones que el motor y sus componentes puedan tener para que se logre obtener un resultado satisfactorio y confiable. Para determinar las capacidades y características físicas de un motor existen una serie de fórmulas las cuales ayudan con su rediseño; entre estas se pueden definir como las más importantes: el cálculo de desplazamiento de un motor, la relación de compresión, la capacidad volumétrica, la velocidad del pistón, el cálculo de potencia y torque de un motor.

Todas estas fórmulas se estarán describiendo a continuación incluyendo sus dimensionales y su utilización.

### 2.2.1. Medición y cálculo del desplazamiento de un motor

El cálculo del desplazamiento del motor es el principal paso para definir el tamaño y así dar una referencia inicial de cómo se encuentra la salud del motor y de cuántas veces este ha podido ser reconstruido previo a modificarse.

Tomando en cuenta que un motor ciclo Otto se define desde el principio de émbolo y cilindro, el cálculo de su volumen se origina del volumen de un cilindro multiplicado por la cantidad de cilindros que compongan al motor y así obteniendo el volumen total que comprende el desplazamiento total en centímetros cúbicos o pulgadas cúbicas.

Para obtener los valores de desplazamiento de un motor es necesario tomar las mediciones de la carrera del pistón a lo largo del cilindro  $C$ , el diámetro del cilindro  $d$  y luego se calcula el volumen del cilindro e y se multiplica por el número de cilindros  $N_{cil}$ , como resultado se obtiene el desplazamiento total del motor.

Si se cuenta con literatura técnica específica del motor, es muy probable que se puedan encontrar las dimensiones iniciales o estándar, pero siempre se recomienda realizar mediciones para determinar su salud y vida útil.

$$D = (1/4\pi d^2 * C)N_{cil}$$

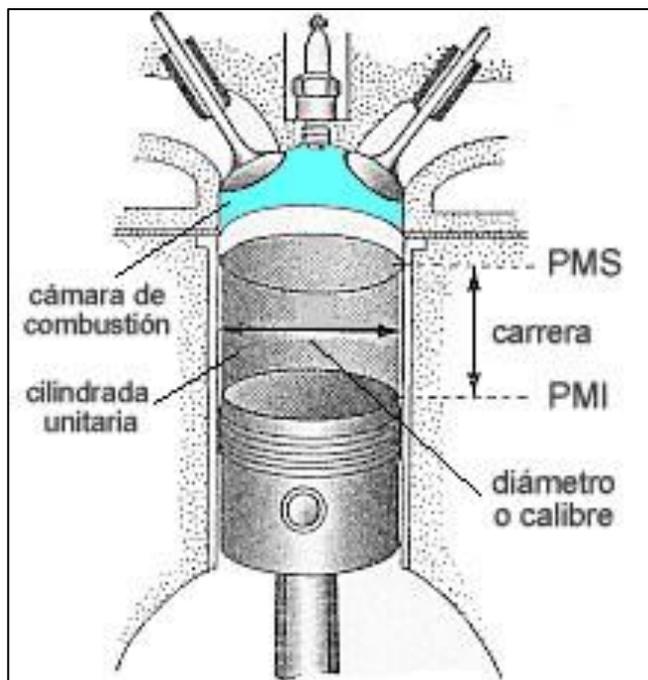
Donde:

- $D = desplazamiento en cm^3$
- $d = diámetro de cilindro en cm$
- $N_{cil} = número de cilindros de motor$

### 2.2.2. Medición y cálculo de la relación de compresión de un motor

Se le llama relación de compresión a la relación de proporcionalidad que existe entre el volumen del cilindro y el volumen de la cámara de combustión de la culata; esta relación influye directamente en la potencia del motor. Existen dos métodos para determinar la relación de compresión de un motor, el uso de los métodos dependerá de que el motor se encuentre armado o desarmado; a continuación se describen los dos métodos.

Figura 2. Ilustración de conjunto de cilindro, pistón y cámara de combustión



Fuente: *Motor de cuatro tiempos*. <https://sites.google.com/site/tecnorlopez33/tema3-maquinastermicas/05-motor-de-cuatro-tiempos/cuatroT3.jpg?attredirects=0>. Consulta: 12 de septiembre de 2017.

### 2.2.2.1. Cálculo de relación de compresión por método de medición de componentes

Este método se utiliza para calcular la relación de compresión justo cuando el motor está armado y se puede tener acceso para medir la geometría de la corona del pistón, el diámetro del cilindro, la carrera de pistón, las dimensiones del empaque de culata y la geometría de la cámara de combustión.

Procede a realizar las mediciones de los componentes para obtener los volúmenes de domo de pistón, la diferencia de altura entre la superficie del motor y la altura máxima del pistón; se adiciona el volumen del empaque de la culata y de la misma manera se calcula el volumen de la cámara de combustión. Se procede a sumar los resultados de los diferentes volúmenes y se dividen dentro del volumen de la cámara de combustión y como resultado se tiene el número adimensional que da la relación de compresión del motor. A continuación, se describe la ecuación de relación de compresión:

$$RC = \frac{V_{cil} + V_e + V_d + V_h + V_c}{V_c}$$

Donde:

- $RC = relaciones\ de\ compresión.$
- $V_{cil} = volumen\ de\ cilindro\ en\ cm^3.$
- $V_d = volumen\ de\ domo\ de\ pistón\ en\ cm^3.$
- $V_e = volumen\ de\ empaque\ de\ culata.$
- $V_h = volumen\ de\ diferencia\ de\ altura\ entre\ corona\ y\ parte\ superior\ de\ motor.$

- $V_c = \text{volumen de cámara de combustión en cm}^3$ .

### 2.2.2.2. Cálculo de relación de compresión por medio del llenado del volumen de la cámara de combustión con líquido viscoso

Este método tiende a ser muy práctico, preciso y sencillo de aplicar ya que no hay necesidad de medir todos los componentes, pero es necesario saber con seguridad el volumen del cilindro. Se procede a colocar el pistón en punto muerto superior en posición de compresión para que las válvulas estén totalmente cerradas; luego, con una probeta calibrada, se procede con el vaciado del líquido viscoso hasta llenar la cámara de combustión y las áreas entre el pistón y el empaque de la culata en su totalidad; de esta manera se obtendrá el volumen real de la cámara de combustión. Luego, se procede con el cálculo de la relación de compresión real por medio de la fórmula simplificada

$$RC = \frac{(V_{cil} + V_c)}{V_c}$$

Donde:

- $RC = \text{relación de compresión}$
- $V_{cil} = \text{volumen de cilindro en cm}^3$
- $V_c = \text{volumen de cámara de combustión en cm}^3$

### 2.2.3. Cálculo de la velocidad lineal del pistón

Este es un dato muy importante ya que se puede determinar el esfuerzo físico al que somete el motor a sus componentes; este valor se puede relacionar también al desempeño del motor: a una velocidad mayor, el motor

puede ser considerado como menos confiable que si la velocidad es menor; pero esto dependerá de los componentes que se utilicen al momento de armar el motor para mejorar su desempeño y tomando en cuenta que en el mercado se pueden encontrar componentes mucho más livianos que los originales de fábrica y de aleaciones mucho más resistentes los cuales pueden devolver la confiabilidad al motor.

No obstante, es recomendado no exceder el máximo de 20 m/s, pero existen casos donde los componentes son rediseñados para soportar velocidades mayores a las del límite recomendado.

$$V_p = \frac{(C * 2 * rpm)}{60}$$

Donde:

- $V_p =$  *velocidad lineal de pistón en m/s*
- $rpm =$  *revoluciones por minuto*

#### **2.2.4. Cálculo de capacidad volumétrica teórica de un motor**

La capacidad volumétrica de un motor no es más que la eficacia con la que un motor puede efectuar la renovación de la mezcla de carga de un cilindro; esto es un factor muy importante para definir la mejora de desempeño de un motor dado a que influye directamente la relación de compresión, el diseño de los ejes de levas y la velocidad lineal de pistón; la ecuación viene dada por la relación entre la velocidad de giro y el desplazamiento del motor.

$$CV = \frac{(rpm * D)}{2}$$

Donde:

- $CV = \text{capacidad volumétrica en } m^3/min$
- $D = \text{desplazamiento en } m^3$

El coeficiente de capacidad volumétrica se describe como la eficacia para lograr un llenado efectivo del cilindro con la mezcla de combustible y aire y es el resultado en porcentaje de llenado del volumen de mezcla dentro del volumen unitario del cilindro de un motor.

$$E = \frac{CV}{CV'}$$

Donde:

- $E = \text{coeficiente de volumétrico de llenado}$
- $CV = \text{capacidad volumétrica en } m^3/min$
- $CV' = \text{capacidad volumétrica real en } m^3/min$

Mientras el coeficiente de llenado esté próximo al valor de 1 este será óptimo y se podrá garantizar una combustión mejorada y el desarrollo máximo de la potencia del motor que considere las modificaciones que influyen directamente en el llenado como la adaptación de válvulas de mayor diámetro en admisión y escape, mejora de las cavidades de admisión y escape de la culata, la instalación de un eje de levas con más duración y apertura en su leva.

### 2.2.5. Cálculo de potencia de un motor

La potencia se define como la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo, es decir, la rapidez con la que se lleva a cabo un trabajo y en el caso de los motores, es la relación de trabajo realizado por la velocidad de giro del motor o rpm. Por tanto, dado que el trabajo se obtiene de la fuerza par del motor y que el tiempo se referencia a partir del régimen, del producto de ambos se deduce la potencia teórica donde la cifra ubicada en el divisor es una constante, que permite relacionar los caballos (HP) como unidad de potencia y los kilogramos fuerza-metro como unidad de par de motor (torque).

$$P_{cv} = \frac{(rpm * T)}{716,2}$$

$$T = \frac{(P_{cv} * 716,2)}{Rpm}$$

Donde:

- $P_{cv}$  = potencia en CV
- $T$  = fuerza par o torque en Kgmf \* m
- rpm = velocidad de giro de motor

### 2.3. El dinamómetro

Los dinamómetros, en general, son una categoría de dispositivos de prueba que miden la potencia o el par producido por una máquina. Un dinamómetro para la automoción, más popularmente conocido como banco de pruebas, es una máquina especializada que calcula la cantidad de caballos de

fuerza que el motor de un automóvil puede generar. El dinamómetro es muy popular entre los profesionales de la mecánica automotriz, tanto como herramienta de diagnóstico y como una manera de medir los resultados de las modificaciones de rendimiento.

Hay dos tipos principales de dinamómetros y la diferencia entre ellos es que sirven para probar potencia en el motor o en las ruedas. Un banco de pruebas que mide la potencia en el motor se conoce como un dinamómetro del motor, mientras uno que mide la potencia de las ruedas se conoce como un dinamómetro del chasis; los dinamómetros de chasis ofrecen una medida más exacta del estado real del poder que se está transmitiendo por las ruedas en la velocidad.

Los dinamómetros del motor son a menudo simplemente un elemento de un sistema más grande de diagnóstico conocido como un banco de pruebas del motor. Utilizado principalmente por los fabricantes de automóviles y motores, estos sistemas también pueden ser dispositivos de pruebas para cosas como las emisiones, la eficiencia de combustible y las capacidades globales de estrés dentro del motor.

A menudo los dinamómetros se utilizan para determinar los números de las especificaciones finales que se ponen a través de los canales oficiales, cuando un auto nuevo se da a conocer. Un banco de pruebas del motor trabaja a través de sensores electrónicos colocados en diferentes partes del propio motor, y que detectan y traducen la producción en unidades de medición comunes, como caballos de fuerza.

Por el contrario, la configuración básica de un dinamómetro de chasis consta de una rampa y la plataforma sobre la cual se coloca un auto y cuenta

con rodillos debajo de las ruedas motrices que les permiten girar el vehículo y mantenerlo seguro en todo momento. La mayoría de los dinamómetros tienen sólo un par de estos rodillos, lo que significa que los vehículos de tracción en las cuatro ruedas no se pondrán a prueba correctamente. Para estos vehículos, un banco de pruebas especial debe ser utilizado.

Los rodillos sobre un dinamómetro de chasis o bien pueden ejercer una fuerza de resistencia contra las ruedas para medir la potencia, o, en su lugar, se permiten aproximar las fuerzas que un vehículo puede generar cuando se acelera sobre una superficie plana. Estos diseños son conocidos como dinamómetros de freno y dinamómetros de inercia, respectivamente.

Los dinamómetros de rodillos se utilizan para obtener las curvas de potencia, fuerza par o torque y consumo específico de combustible de un motor de combustión interna, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que describen su funcionamiento.

Para la realización del ensayo se colocan las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos. Seguidamente, se fijan los sistemas que garantizan que el vehículo permanezca inmóvil durante el ensayo. Se arranca el motor y comienza la prueba, la cual se desarrolla en una marcha determinada, por lo general 3ra. o 4ta. Se parte desde un número bajo de rpm y se acelera a fondo hasta el número de máximo de rpm deseado, allí se libera el acelerador y el motor retorna paulatinamente al régimen de inicio. El rodillo, de alta inercia y volumen, recibe la potencia de las ruedas motrices; un sistema de captura de datos y un software especializado muestran en la pantalla de una computadora los resultados obtenidos en forma de gráficos y tablas.

Con un banco de rodillos, se puede determinar si el motor de un vehículo cumple con las especificaciones señaladas por el fabricante, también, evaluar la influencia de modificaciones mecánicas o electrónicas; sobre el rendimiento del motor sin tener que desmontarlo.

### **3. CABEZA O CULATA**

#### **3.1. Aspectos técnicos de cabezas según su configuración**

La culata es la parte superior del motor que cierra los cilindros se une al bloque mediante tornillos y para hacer sello en la unión al bloque del motor se intercala el empaque de culata. Es una pieza compleja en cuanto a fabricación y diseño ya que posee una elevada resistencia a pesar de su forma irregular y contiene cantidad de conductos, orificios y talados roscados. En ella se forman las cámaras de combustión, las cámaras para el líquido de refrigeración y los conductos de admisión y escape.

Conforme al paso de los años y la aplicación de la ingeniería de las distintas marcas fabricantes de motores, los componentes de los motores han sido rediseñados utilizando geometrías diferentes y distintos tipos de materiales mucho más resistentes y livianos que los que se utilizaron en los inicios de los motores de combustión interna.

Las culatas están compuestas de varias partes esenciales para el funcionamiento del motor y se puede comprobar que una es el componente que asegura el óptimo desempeño de un motor; sin embargo, es muy fácil encontrar partes de recambio con modificación de su geometría y características para mejorar su desempeño y su entrega de potencia.

Las partes principales de una culata son: las válvulas de admisión y de escape, los portes de admisión y de escape y la cámara de combustión. Tomando en cuenta que la relación de compresión depende del volumen de la

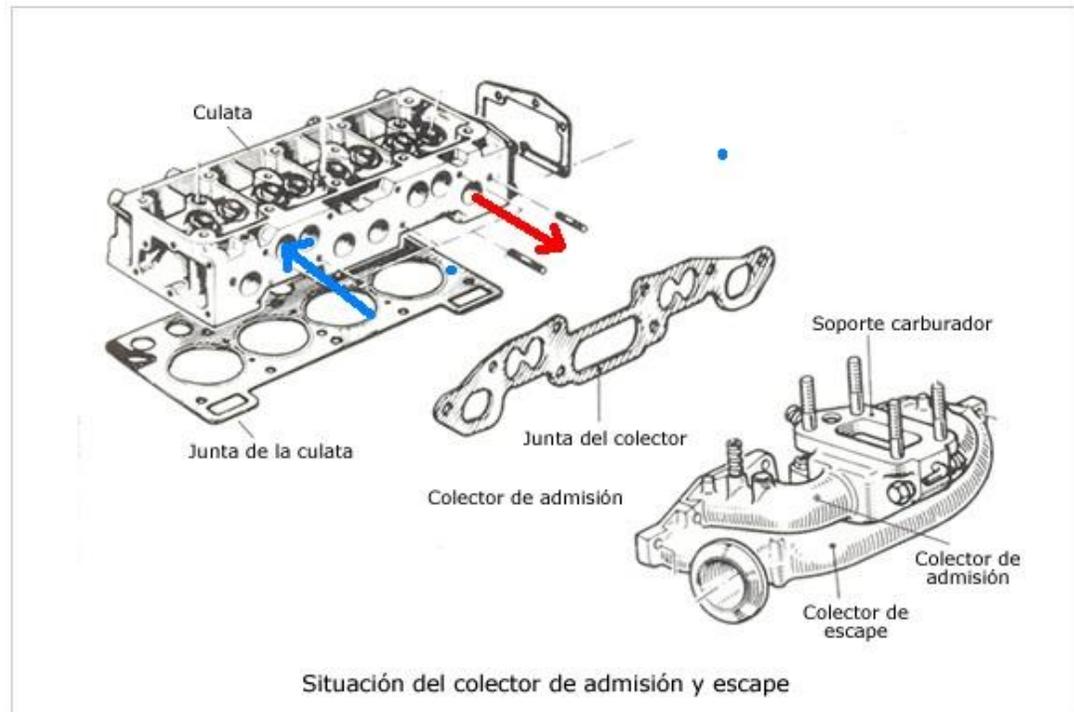
cámara de combustión y la capacidad volumétrica depende de la geometría de los portes, del diámetro de las de las válvulas de admisión y de escape, también, de las características del árbol de levas.

Las culatas se clasifican por la cantidad de válvulas de admisión y de escape que la conforman, también, por el accionamiento de uno o dos árboles de levas, y dependiendo del diseño del fabricante, por la dirección de los portes de admisión y de escape ya sean unidireccionales o de flujo cruzado.

### **3.1.1. Culatas de flujo unilateral**

Las culatas de flujo unilateral se caracterizan por tener los portes de admisión y de escape uno al lado del otro en una sola sección de la culata; esta configuración es utilizada comúnmente para ahorrar espacio en la cavidad del motor pero con la característica de elevar la temperatura de la mezcla de combustión previo al ingreso al cilindro dado que el porte de gases de escape se localiza justo a la par del porte de admisión ocasionando una pérdida en el coeficiente volumétrico de llenado. Esta pérdida puede ser mejorada con modificaciones en el porte de admisión y modificando el diámetro de la válvula de admisión.

Figura 3. **Culata con portes de flujo lateral**



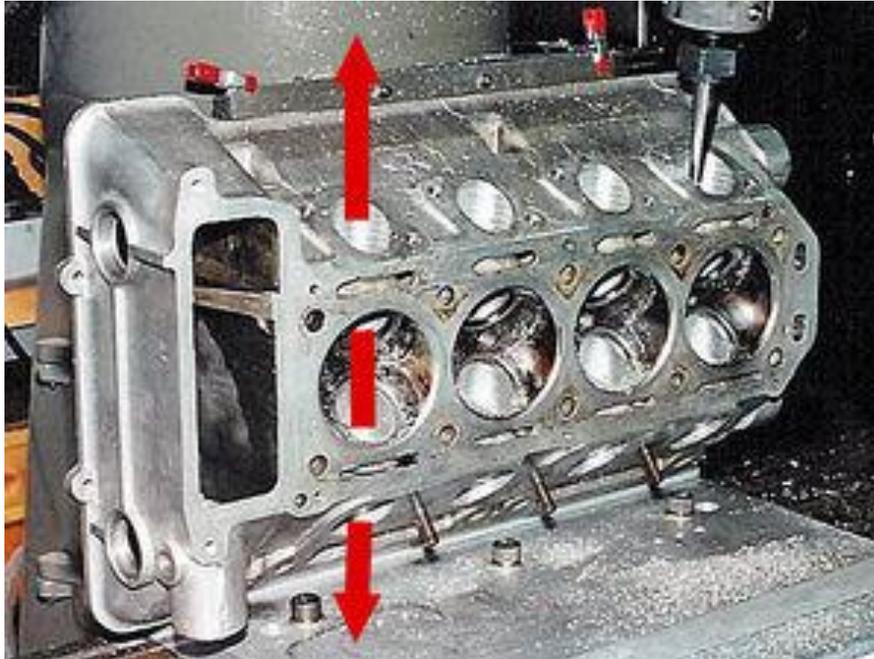
Fuente: *Estructura del motor*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-estructura.htm>.

Consulta: 13 de julio de 2017.

### 3.1.2. **Culatas de flujo cruzado**

Las culatas de flujo cruzado se caracterizan por tener los portes de admisión y escape en lados opuestos de la culata; logra así tener una forma más eficiente de mantener la mezcla de combustión fresca previo al ingreso al cilindro obteniendo un mejor coeficiente volumétrico de llenado y se caracteriza por tener portes mucho más amplios y rectos y poseen válvulas de mayor diámetro que una culata de flujo unidireccional. Actualmente, es muy común encontrar culatas de flujo cruzado en los motores modernos que culatas de flujo unidireccional.

Figura 4. **Culata de flujo cruzado**



Fuente: *Cabeza del cilindro*. [http://www.woiweb.com/index.php/Crossflow\\_cylinder\\_head](http://www.woiweb.com/index.php/Crossflow_cylinder_head).

Consulta: 2 de enero de 2018.

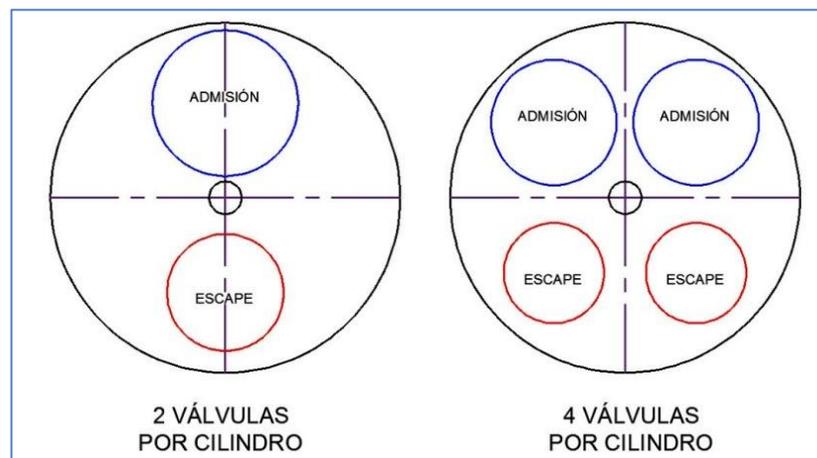
### **3.1.3. Configuración según el número de válvulas y árboles de levas**

Originalmente, los sistemas de admisión y escape de un motor habían sido diseñados con una válvula de admisión y una válvula de escape; con el tiempo los fabricantes han diseñado culatas con características físicas que ayudan a obtener un mejor desempeño en los motores que agrega más válvulas de admisión y de escape; también, separando las levas de admisión y de escape y organizando su accionamiento por medio de dos árboles de levas para lograr una mejor distribución de los tiempos de apertura y cierre de acuerdo a los tiempos del motor.

Existen configuraciones en las que los fabricantes agregan tres válvulas de admisión y dos válvulas de escape, otros comunes como dos válvulas de admisión y dos de escape y comúnmente una válvula de admisión y una de escape; la cantidad de válvulas instaladas en una cámara de combustión también se ve limitada en su geometría; sin embargo, se ha comprobado que mientras la mezcla de carga ingrese al cilindro con mayor facilidad, mejor será la combustión y mejor será su coeficiente volumétrico del cilindro.

Por lo regular, las válvulas de admisión tienen un diámetro mayor al de la de escape para facilitar la admisión de la mezcla de combustión; en cambio, la de escape es de diámetro menor para que los gases salgan forzados por la presión que ejerce el pistón.

Figura 5. **Distribución de válvulas en cámara de combustión**



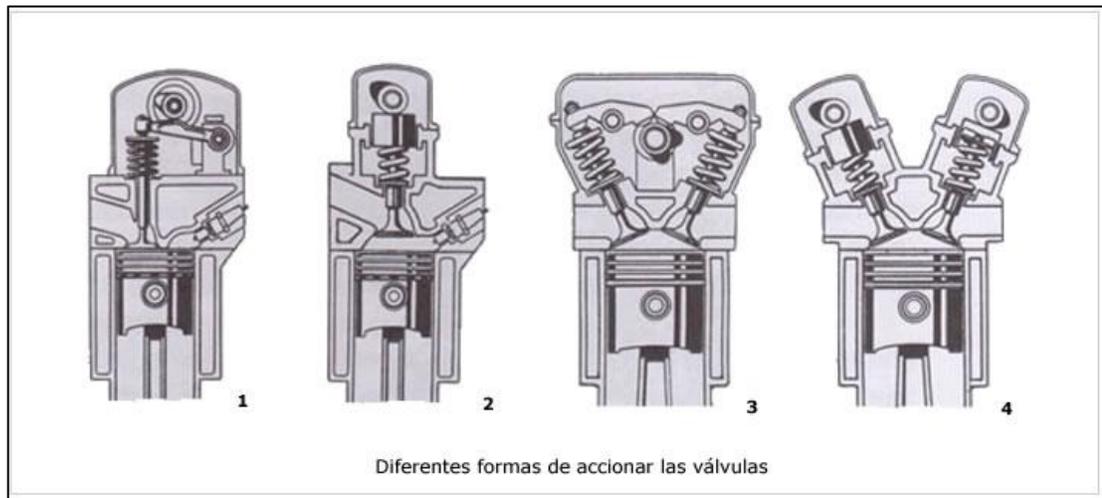
Fuente: *Distribución de válvulas*. <https://www.actualidadmotor.com/el-rol-de-las-valvulas-del-motor/>. Consulta: 13 de enero de 2018.

Los distintos fabricantes de motores han ido implementando nuevos diseños y han ido mejorando el funcionamiento de los motores y de sus

componentes y la cabeza o culata no es la excepción, tomando en cuenta que juega un papel muy importante en la entrega de potencia de un motor; a continuación, las descripciones de los diferentes tipos de culata y sus configuraciones.

- Árbol de levas situado en la parte inferior, varillas de empuje con balancín y válvulas en paralelo.
- Árbol de levas situado en la parte superior, balancín de palanca y válvulas en paralelo.
- Árbol de levas situado en la parte superior, con empujadores de vaso invertido y válvulas en paralelo.
- Árbol de levas situado en la parte superior, con balancines y con las válvulas colocadas en forma de V. Cuando accione 3 o 4 válvulas como ocurre en algunos motores.
- Dos arboles de levas situados en la parte superior con las válvulas colocadas en forma de V. Es el accionamiento de las válvulas preferido para la técnica del motor de 4 y 5 válvulas.

Figura 6. **Distintas configuraciones de culatas y árbol de levas**



Fuente: *Culatas y levas*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>.

Consulta: 12 de enero de 2018.

### **3.2. Flujo volumétrico y los portes de admisión y de escape de una culata**

Como se describió en el inciso 2.2.4 del capítulo dos, la capacidad volumétrica de cada cilindro de un motor es la clave esencial para lograr una mejora considerable en el desempeño de un motor, teniendo en cuenta que el ingreso de la mezcla de combustión y el escape de los gases de poscombustión se da en la culata del motor; por tanto, es necesario tener en cuenta sus características físicas para que el flujo volumétrico de mezcla entre de manera que el coeficiente volumétrico sea muy cercano al valor óptimo, el cual se persigue luego de efectuar las modificaciones respectivas en la culata.

Existe en la industria de la mecánica automotriz un equipo diseñado por los fabricantes de motores y por los investigadores para el desarrollo de culatas

altamente eficientes al cual denominaron banco de flujo en el que se realizan pruebas en culatas desde su condición inicial para referenciar la mejora posterior a las modificaciones que están directamente relacionadas a sus componentes como válvulas, árbol de levas y superficies de paso de los flujos de admisión y de escape conocidos como portes.

Se realizan pruebas de flujo inyectando un flujo de aire a una velocidad y presión calibradas y se realizan repetidas iteraciones a distintas alturas de apertura de las válvulas por medio de un dispositivo mecánico que controla la apertura que simula un árbol de levas que mide el flujo volumétrico que pasa por los conductos de la culata que asegura que se ha logrado mejorarlo y documentándolo de tal manera que se pueda replicar en casos similares en el futuro.

Los bancos de flujo pueden ser encontrados en el mercado a un precio razonable o pueden ser fabricados independientemente; esta herramienta ofrece una prueba tangible de las mejoras de un motor previo a ingresarlo a una prueba final de dinamómetro para confirmar su potencia entregada mejorada.

**Figura 7. Banco de flujo para prueba de flujo de culatas**



Fuente: elaboración propia.

Se denomina portes de culata a los conductos de la culata donde entra la mezcla de combustión y donde salen los gases de escape de un motor donde el porte de admisión inicia en la parte externa de la culata y termina justo en la válvula de admisión donde la mezcla de combustión ingresa al cilindro por la parte superior de la cámara de combustión; el porte de escape inicia justo en la parte trasera de la válvula de escape y por este es donde se evacuan los gases de escape del motor hacia el exterior jugando este un papel muy importante ya que la velocidad de los gases calientes por este conducto generan una contrapresión que a la vez genera un porcentaje de fuerza par del mismo motor.

De forma ideal, la expectativa es que una culata sea capaz de suministrar el flujo suficiente para llenar un cilindro al 100 %; sin embargo esto no se cumple debido a que las culatas por su compleja construcción siempre poseen residuos de fundición y en ocasiones el maquinado de algunas de las superficies es insuficiente lo que ocasiona obstrucción del flujo de admisión y de escape.

Es necesario modificar y en algunos casos ampliar los conductos de admisión y de escape a manera de que todas las superficies y conductos de la culata sean uniformes, especialmente, los alojamientos de los asientos de válvula, residuos de fundición entre los conductos de admisión y de escape, también, la eliminación de sus áreas rugosas. De esta manera se podrá mejorar la capacidad volumétrica de suministros de la culata a los cilindros de los motores a este trabajo se le conoce como *porting* de culata.

Figura 8. **Una culata antes y después de ser modificada**



Antes

Después

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. **Cámara de combustión**

Se le llama cámara de combustión al espacio que se forma entre la cabeza del pistón cuando está en PMS y la culata. En este espacio se comprime el gas y se lleva a cabo la combustión. Se construye generalmente en la culata donde se alojan las válvulas de admisión y escape, la bujía. La forma de la cámara y su volumen influyen decisivamente en el rendimiento del motor. En algunos motores se construye la cámara sobre la cabeza del pistón.

La bujía provoca una chispa que inflama la mezcla, la chispa de la bujía se caracteriza por su alta intensidad y la velocidad para quemar toda la mezcla ingresada al cilindro y comprimida en la cámara de combustión; para conseguirlo las cámaras deben reunir unas características muy importantes:

- Mínimo recorrido del frente de la llama: cámara compacta con poca superficie en relación a volumen.
- Combustión rápida: se consigue con una gran turbulencia y corto recorrido del frente de la llama.
- Alta turbulencia: movimiento rápido de la masa gaseosa aumenta la homogeneidad de la mezcla por tanto su velocidad.
- Resistencia a la detonación: evitando las partes calientes, así como las zonas de acumulación de carbonilla.

Tomando en cuenta las características necesarias para obtener un resultado efectivo de una cámara de combustión, los distintos fabricantes han diseñado diferentes tipos de cámaras y con diferentes geometrías, entre las más comunes están:

- Cámara semiesférica: es la ideal, su mínima superficie con relación a su volumen y su buena turbulencia, la bujía situada en el centro permiten que el frente de llama se desplace rápidamente y uniformemente actuando sobre la cabeza del pistón. No siempre se pueden conseguir en la práctica; en los motores Otto está muy condicionada por la posición de las válvulas y la bujía.

- Cámara hemisférica: características muy parecidas a la ideal, pequeña y pocas pérdidas térmicas, las válvulas disponen a los lados formando un ángulo de entre 20 y 60° lo que favorece la entrada y salida de gases y proporciona amplio espacio para las válvulas; la bujía va en el centro. Actualmente, permiten el montaje de 4 válvulas por cilindro.
- Cámara de cuña: buena resistencia a la detonación y reducida superficie interior. La forma de cuña permite la acumulación de mezcla alrededor de la bujía lo que origina un buen frente de llama. Ofrece buen rendimiento pero menor que la hemisférica.
- Cámara de bañera: se puede conseguir un buen alanzado de válvulas, pero el diámetro de estas que muy reducido por la falta de espacio y el recorrido del frente es excesivamente largo. Poco utilizada debido a su bajo rendimiento.
- Cámara en el pistón: la culata es plana ya que la cámara de combustión se encuentra en la cabeza del pistón, la forma de la cámara crea una fuerte turbulencia durante la compresión. Se consigue una mezcla muy homogénea que permite utilizar elevadas relaciones de compresión y empobrecer ligeramente la mezcla.
- Cámara de inyección directa: se emplean cámaras de combustión cuya parte superior es de tipo hemisférico convencional.
- Lo característico es la forma de la cabeza del pistón. En ciertas fases trabaja con mezclas pobres y para conseguir las se sirve de unos deflectores en el pistón cuya forma orienta un torbellino de gas y dirige el

combustible inyectado de manera que se concentra una mezcla rica en torno a la bujía y una pobre en la periferia.

### 3.4. Válvulas de admisión y válvulas de escape

Las válvulas son elementos que abren y cierran los conductos de admisión y escape sincronizados con el movimiento de subida y bajada de los pistones. A su vez, mantiene estanca o cerrada la cámara de combustión cuando se produce la carrera de compresión y combustión del motor.

Se utilizan dos válvulas por lo menos para cada cilindro (una de admisión y una de escape), aunque actualmente hay muchos motores con 3, 4 y hasta 5 válvulas por cilindro.

Figura 9. Válvulas de admisión y de escape

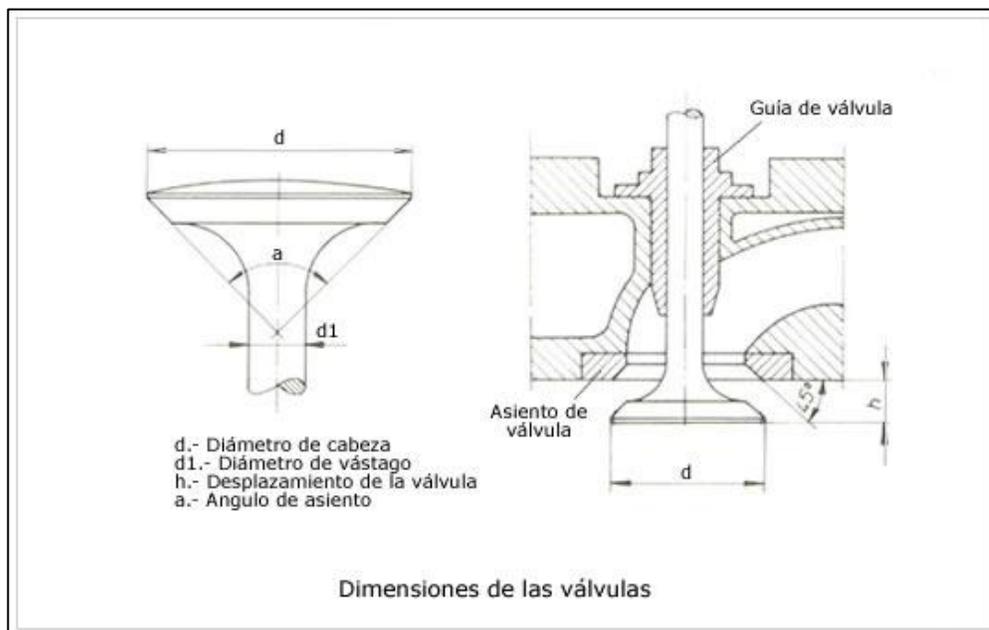


Fuente: *Distribución del motor*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>.

Consulta: 12 de enero de 2018.

Las válvulas están constituidas por una cabeza mecanizada en toda su periferia, con una inclinación o conicidad en la superficie de asiento, generalmente de  $45^\circ$ , que hace de cierre hermético sobre el orificio de la culata. Unido a la cabeza, lleva un vástago o cola perfectamente cilíndrica, cuya misión es servir de guía en el desplazamiento axial de la válvula, centrar la cabeza en su asiento y evacuar el calor de la misma durante su funcionamiento. En la parte del pie de la válvula lleva un rebaje o cuñero para el anclaje y retención de la válvula sobre la culata.

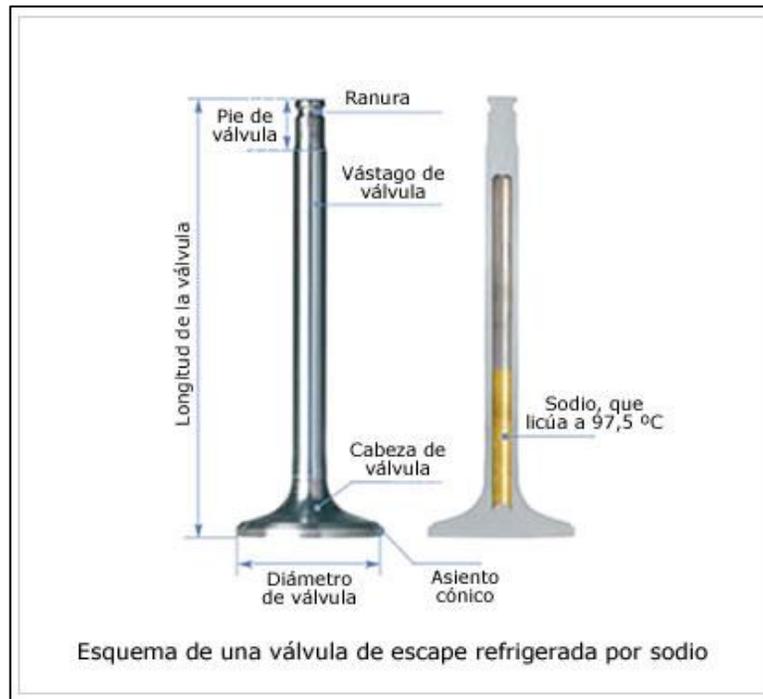
Figura 10. **Diseño básico de una válvula**



Fuente: *Diseño de válvula*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>.

Consulta: 12 de enero de 2018.

Figura 11. **Características físicas de una válvula**



Fuente: *Características de la válvula*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>. Consulta: 12 de enero de 2018.

Las válvulas se fabrican de aceros especiales con grandes contenidos de cromo y níquel, que le dan una gran dureza, pues tienen que soportar grandes esfuerzos y resistir el desgaste y las corrosiones debidos a las grandes temperaturas a que están sometidas.

El calor que soportan las válvulas es evacuado en mayor parte a través de los asientos en la culata, el resto es evacuando a través de las guías de las válvulas. Para evacuar más calor las dimensiones de las guías son distintas dependiendo que sea para la válvula de escape o de admisión. La guía utilizada para la válvula de escape será más larga para evacuar más calor.

En la mayor parte de los motores, las válvulas de admisión tienen la cabeza con mayor diámetro que las de escape para facilitar el mejor llenado del cilindro. Las válvulas de escape, por el contrario, suelen hacerse con menor diámetro de cabeza para darle mayor consistencia ya que estarán sometidas a las elevadas temperaturas de la salida de los gases.

#### **3.4.1. Dimensiones de las válvulas**

El diámetro de la cabeza de la válvula de admisión siempre será mayor que la de escape para dejar entrar la mayor cantidad de masa gaseosa en el cilindro. Sin embargo, el diámetro de la válvula de escape es menor por que la salida de los gases de escape se hace a presión empujados por el pistón.

La válvula de admisión tiene un diámetro entre un 20 % y 30 % mayor que la válvula de escape. Las medidas más importantes de las válvulas son: El diámetro de la cabeza de la válvula, la alzada o el desplazamiento de la válvula sobre su asiento, el ángulo de asiento, el diámetro del vástago.

#### **3.4.2. Asientos de válvulas**

Son piezas postizas colocadas a presión sobre la culata y sobre las cuales asientan las válvulas para lograr el cierre hermético de la cámara de combustión. Los asientos se montan porque el material de la culata es excesivamente blando respecto al de la válvula y no puede soportar el continuo golpeteo al que está sometido el asiento durante el funcionamiento.

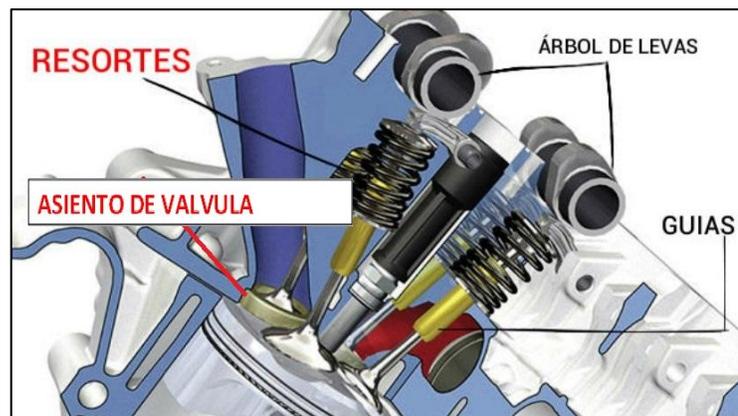
El material empleado para fabricar los asientos es la fundición gris centrifugada y nitrada, aleada con cromo-níquel para obtener una elevada dureza y resiliencia.

El montaje de estas piezas se efectúa a presión por medio de un ajuste térmico que consiste en calentar la zona de la culata donde va situada la pieza postiza para que se dilate. La pieza a ensamblar se mantiene en un baño de hielo seco para su contracción. Una vez colocados los asientos en su alojamiento, el calor de la culata se transmite a las piezas postizas, de forma que, al contraerse la culata y dilatarse las piezas, estas quedan perfectamente ajustadas a presión.

### 3.4.3. Guías de válvulas

Las guías de válvula, al igual que las piezas postizas, son unos casquillos cilíndricos que se insertan a presión en la culata siguiendo el mismo proceso indicado anteriormente. En algunas culatas de fundición, la guía se mecaniza directamente sobre el propio material. Su misión es servir de guía al vástago de la válvula durante su apertura y cierre, evitar el desgaste de la culata y transmitir el calor de la válvula al circuito de refrigeración.

Figura 12. **Composición de componentes de una culata**



Fuente: *Composición de una culata*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>. Consulta: 12 de enero de 2018.

### **3.5. Árbol de levas**

El movimiento alternativo de apertura y cierre de las válvulas se realiza por medio de un mecanismo empujador que actúa sobre las válvulas y que se denomina árbol de levas. La apertura y cierre de las válvulas tiene que estar sincronizado con el ciclo de funcionamiento y la velocidad del régimen del motor. El árbol de levas recibe movimiento del cigüeñal a un número de revoluciones que es su mitad.

#### **3.5.1. Constitución**

Está formado por una serie de levas, tantas como válvulas lleve el motor, con el ángulo correspondiente de desfase para efectuar la apertura de los distintos cilindros, según el orden de funcionamiento establecido. Sobre el mismo árbol, sobre todo en motores antiguos, va situada una excéntrica para el accionamiento de la bomba de combustible y el piñón de arrastre para el mando del distribuidor de encendido en los motores de gasolina, el cual también comunica el movimiento a la bomba de aceite.

El árbol de levas además de las levas lleva mecanizados una serie de muñones de apoyo sobre los que gira cuyo número varía en función del esfuerzo a transmitir. Cuando va instalado sobre culata de aluminio, el número de apoyos suele ser igual al número de cilindros más uno.

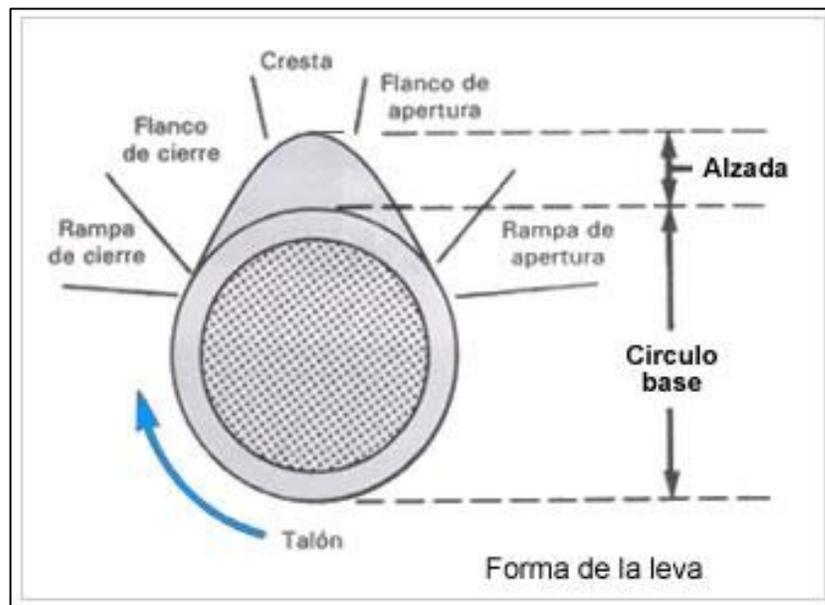
Los árboles de levas se fabrican en una sola pieza de hierro fundido o de acero forjado. Debe tener gran resistencia a la torsión y al desgaste, para ello, se le da un tratamiento de templado. El desgaste del árbol de levas puede suponer una modificación del diagrama de distribución, lo que puede suponer una bajada de rendimiento del motor.

### 3.5.2. Perfil de las levas

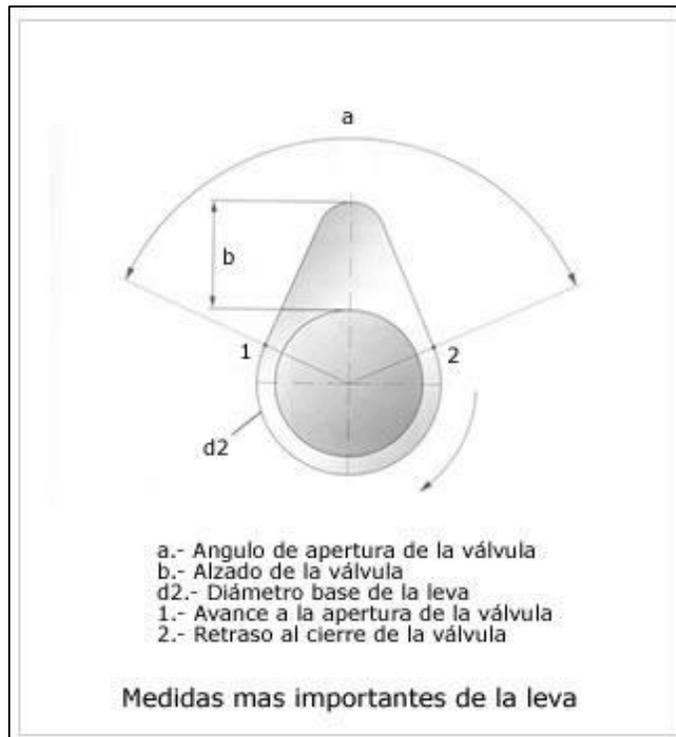
La forma de las levas practicadas sobre el árbol determina los siguientes factores muy importantes para el buen rendimiento del motor: el momento de apertura de las válvulas, el ángulo que permanecen abiertas, el desplazamiento o alzada máxima de la válvula, la forma de hacer la apertura y el cierre de la válvula.

Las medidas más importantes de la leva como se puede ver en la figura inferior, es el diámetro base de la leva que corresponde a la posición de válvula cerrada. A partir del punto 1, comienza la apertura, la válvula permanecerá abierta hasta el punto 2. En este recorrido angular (a) la leva mueve la válvula hasta una apertura o alzado máximo (b).

Figura 13. Perfil y diseño de una leva



Continuación de la figura 13.



Fuente; *Diseño de una leva*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>.

Consulta: 12 de enero de 2018.

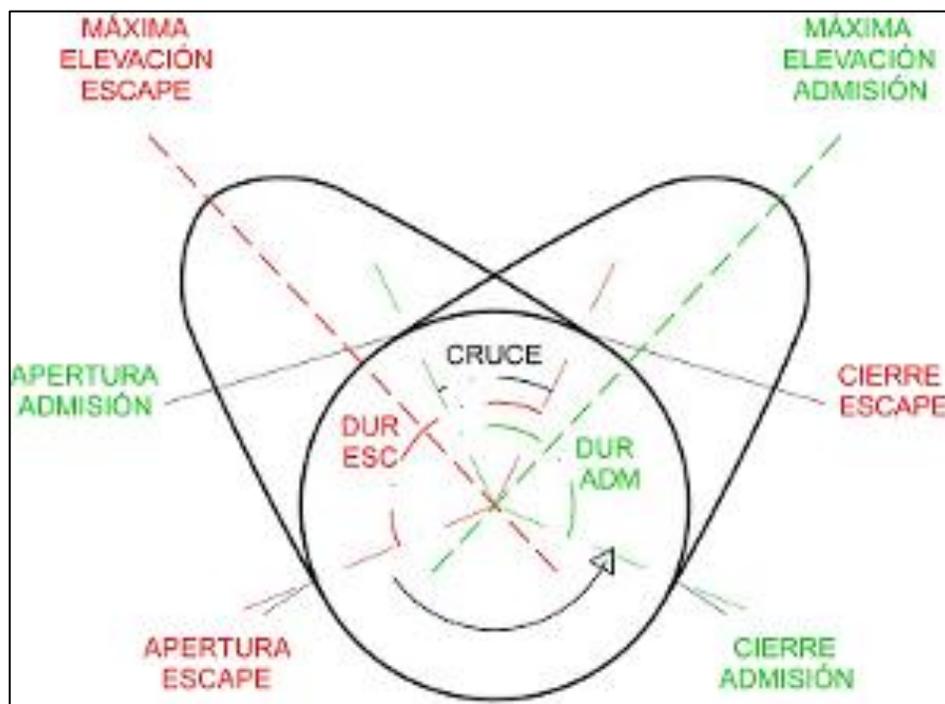
La forma del perfil de la leva determina la forma como se abren las válvulas; hay dos tipos de perfiles:

- Perfil de flancos convexos: está formado por un círculo base que se une a la curva de cresta por medio de dos circuitos tangentes cuyo radio de curvatura está en función de la altura ( $b$ ) y del ángulo total de apertura de la válvula, indicado en el diagrama de distribución.
- Perfil de leva tangencial: los flancos o rampas de ataque al vástago de válvula, están formados por dos rectas tangentes al círculo base y a la

curva de la cresta. Permite que la válvula esté totalmente abierta más tiempo y mejore el intercambio de gases.

En ambos casos, la velocidad y los tiempos de apertura y el cierre de las válvulas dependen directamente del perfil de la leva. El perfil y las dimensiones dependen de las características del motor: cilindrada unitaria, relación de compresión, diámetro de las válvulas, altura de desplazamiento, número de revoluciones y diagrama de distribución.

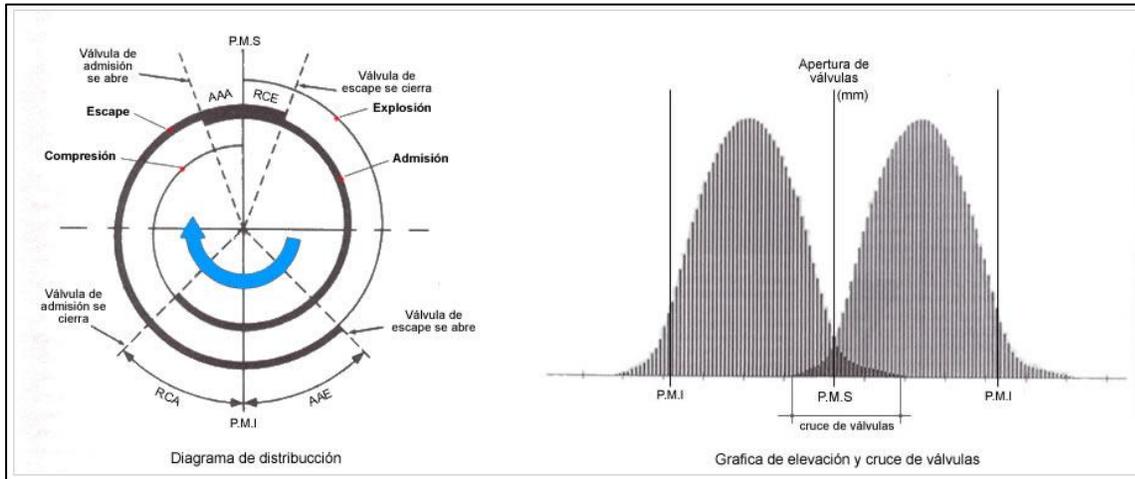
Figura 14. **Secuencia de levas e identificación de traslape valvular**



Fuente: *Secuencia de levas*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>.

Consulta: 13 de enero de 2018.

Figura 15. Diagrama de distribución de un árbol de levas



Fuente: *Distribución de levas*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-distribucion.htm>.

Consulta: 13 de enero de 2018.

### 3.5.3. Modificación de un árbol de levas

El árbol de levas es la pieza principal con la que se puede lograr una mejora de potencia y de fuerza par de un motor; todo dependerá de la geometría de las levas del árbol que se escoja al momento de realizar la modificación.

Existen muchos fabricantes de piezas de alto desempeño que se dedican a fabricar árboles de levas para las distintas culatas y distintas marcas de motores; muchas veces se pueden encontrar árboles de levas de varias marcas pero con características distintas en la geometría de las levas, también, basándose en la relación de compresión y los componentes que ya hayan sido modificados o reemplazados en un motor, por ejemplo; no se puede instalar un árbol de levas con duración muy grande a un motor con una relación de compresión sumamente baja, para esto existe una variedad de medidas para

lograr los mejores resultados de potencia, fuerza par o inclusive ahorro de combustible.

Muchas veces con solamente reemplazar un árbol de levas por uno modificado se puede lograr un incremento de hasta veinte caballos de fuerza en un motor; en algunas ocasiones se logra lo contrario ya que dependerá de las características del motor.

Es necesario tener en cuenta que para instalar un árbol de levas modificado es necesario tomar una serie de mediciones y ajustarlo de tal manera que quede totalmente centrado; de lo contrario, el árbol de levas abrirá las válvulas antes o después de lo indicado por el fabricante.

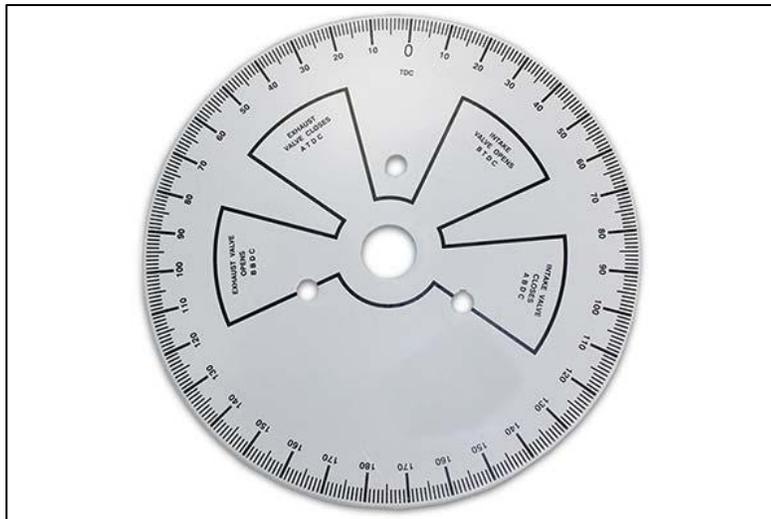
Para realizar la instalación de un árbol de levas es necesario contar con cierta herramienta de alta precisión como puede ser una rueda transportadora de 360 grados que se instala en la parte frontal del cigüeñal; instalar un reloj comparador montado en una base fija justo sobre la parte superior del bloque del motor sobre la cavidad del pistón del cilindro número 1 para encontrar el PMS absoluto ya que los motores de producción masiva de todas las marcas del mercado siempre cuentan con un error entre el PMS indicado en la polea principal del motor y el real; es decir, la posición exacta donde el pistón se encuentre en la parte más alta de su desplazamiento superior.

Figura 16. **Árboles de levas de diferente geometría para un motor**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Rueda transportadora para 360 grados**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **PMS real de un motor**



Fuente: elaboración propia.

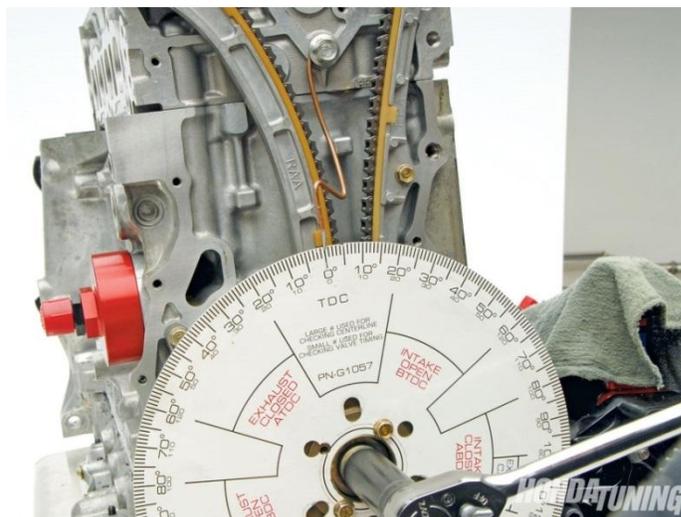
Luego de encontrar el PMS real se debe marcar como en la polea principal del motor para no perderlo como referencia, se debe montar la culata, árbol de levas y todo el dispositivo de accionamiento del árbol de levas para iniciar la medición del árbol de levas. Es necesario, también, instalar un reloj comparador montado en una base magnética fija en la parte alta del tapete o parte superior de la válvula para observar el momento exacto cuando la válvula inicia su apertura y también el cierre; todos estos valores se comparan con la tabla de especificaciones que el fabricante entrega con el árbol de levas nuevo.

Figura 19. **Ajuste de un árbol de levas**



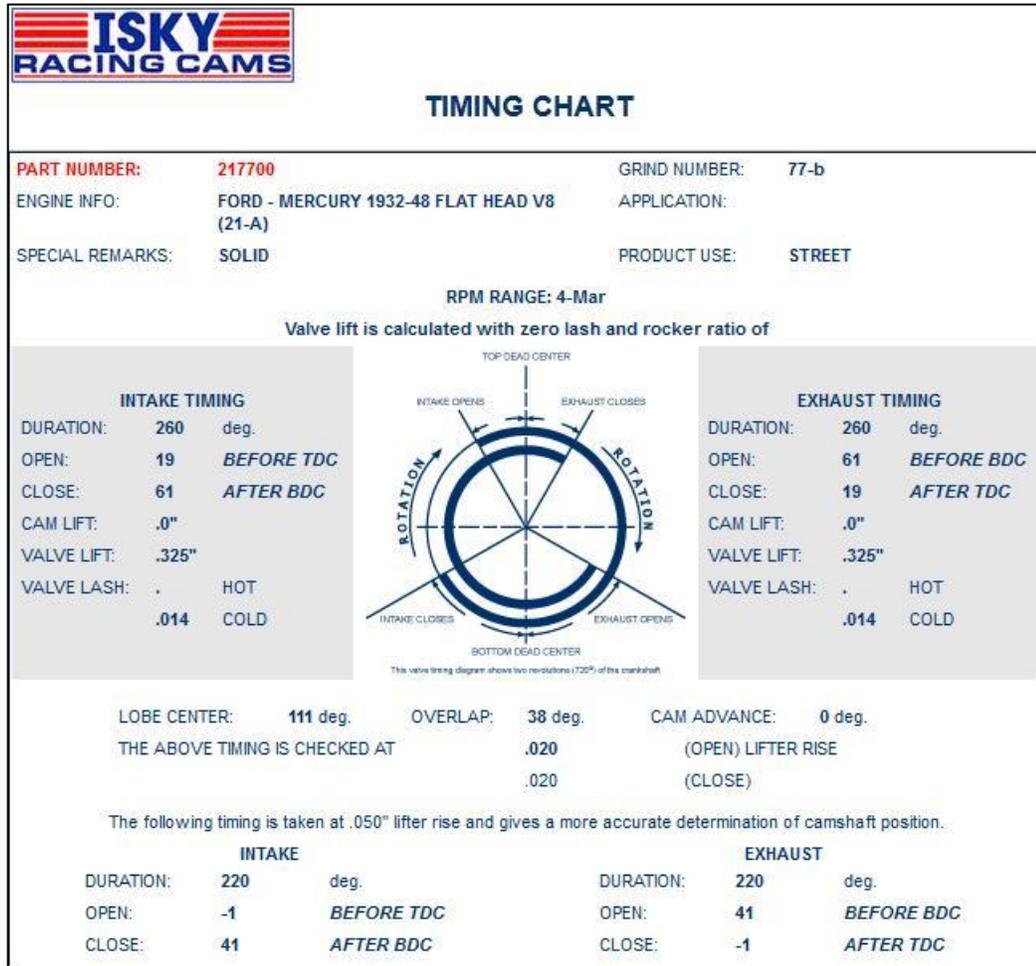
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Rueda transportadora en el cigüeñal**



Fuente: *Cigüeñal*. <http://www.superstreetonline.com/how-to/engine/0704-ht-how-to-degree-camshafts/>. Consulta: 13 de enero de 2018.

Figura 21. Ficha técnica de un árbol de levas



Fuente: *Ficha técnica*. [www.iskycams.com](http://www.iskycams.com). Consulta: 14 de enero de 2018.



## 4. EL CIGÜEÑAL

### 4.1. Características de un cigüeñal

El cigüeñal de un motor juega un papel muy importante en la modificación para la mejora de su desempeño, tomando en cuenta que en este van ancladas las bielas con pistones, el volante de inercia y las poleas frontales y, en algunos casos también, la bomba principal de lubricación del mismo. Antes de proceder a modificar un motor es muy importante conocer los componentes de un cigüeñal y cuáles son sus funciones.

El cigüeñal es la pieza que recoge el esfuerzo de la explosión y lo convierte en par motor a determinadas revoluciones. Es el encargado de transformar el movimiento alternativo de los pistones en un movimiento rotativo. El cigüeñal también transmite el giro y la fuerza motriz a los demás órganos de transmisión acoplados al mismo.

El cigüeñal está constituido por un árbol acodado, con unos muñones de apoyo alineados respecto al eje de giro. Dichos muñones se apoyan en los cojinetes de la bancada del bloque; durante su trabajo, el cigüeñal se calienta y sufre una dilatación axial; por esta razón, las muñequillas de apoyo se construyen con un pequeño juego lateral, calculado en función de la dilatación térmica del material.

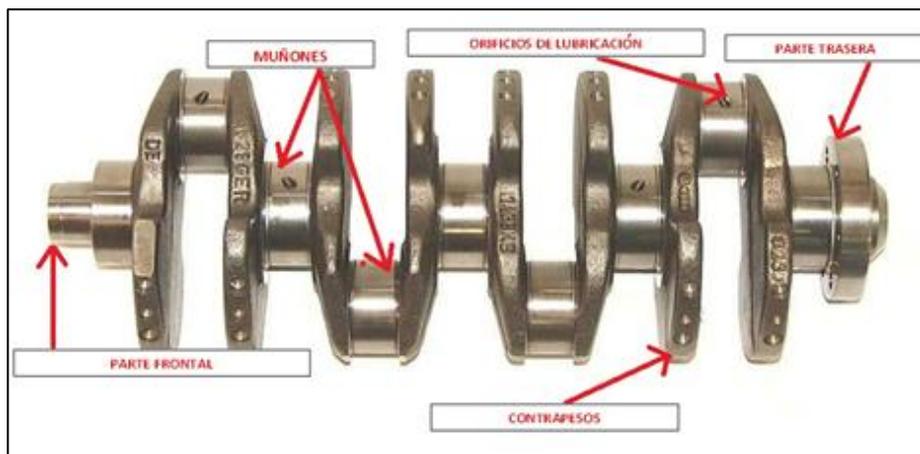
En los codos del árbol se mecanizan unos muñones, situadas excéntricamente respecto al eje del cigüeñal, sobre las que se montan las cabezas de las bielas.

Los brazos que unen los muñones se prolongan en unos contrapesos, cuya misión es equilibrar el momento de giro y compensar los efectos de la fuerza centrífuga, que evita las vibraciones producidas en el giro y las deformaciones torsionales. En la parte posterior del eje va situado el plato de amarre para el acoplamiento del volante de inercia.

El cigüeñal tiene una serie de orificios que se comunican entre sí orificios de lubricación, situados en los muñones. La misión de estos conductos es hacer circular el aceite para la lubricación de los cojinetes, tanto en los apoyos como en los muñones, y expulsar el sobrante al cárter.

En la parte frontal se monta un piñón por mediación de un chavetero o rosca, del que se saca movimiento para el árbol de levas. Justo en la parte frontal también se monta una polea; también, por mediación de un chavetero, que da movimiento generalmente por medio de una banda acciona dispositivos auxiliares del motor.

Figura 22. **Cigüeñal de motor de cuatro cilindros**

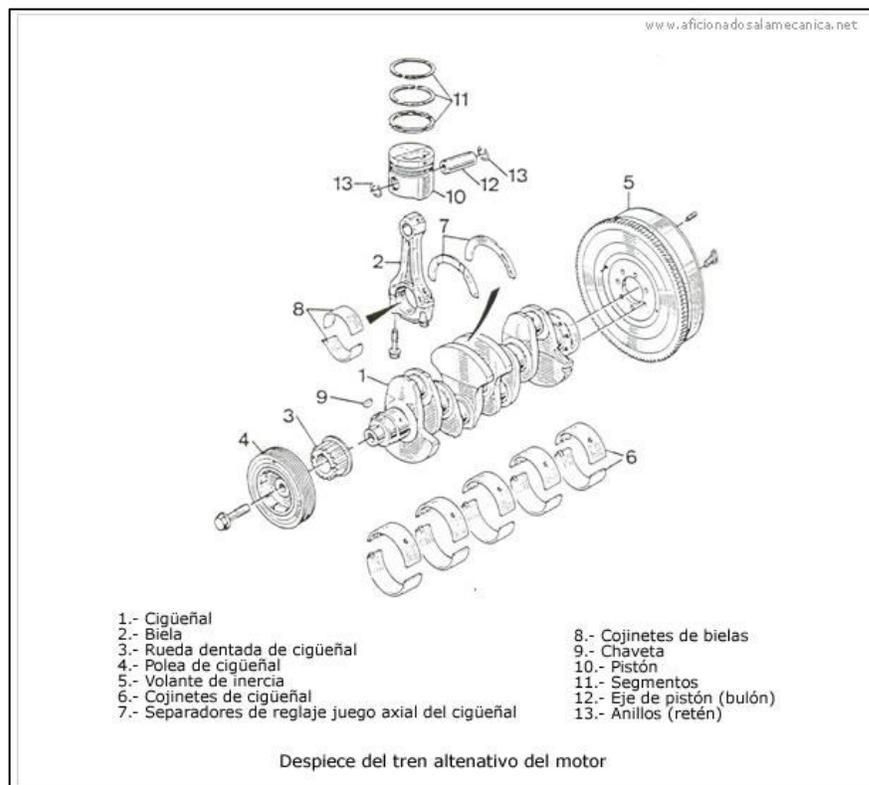


Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Componentes del conjunto cigüeñal

El cigüeñal por ser una pieza de construcción monolítica y de alta resistencia, es la pieza principal donde se genera toda la acción motriz de un motor; por tanto, a esta se adiciona un conjunto de piezas y mecanismos para complementar y hacer funcionar un motor; estas son el volante de inercia, el dámper y la polea frontal, el conjunto de bielas y pistones, finalmente, los cojinetes de giro y soporte axial. A este conjunto de piezas se les denomina elementos móviles de un motor.

Figura 23. Elementos móviles de un motor



Fuente: *Elementos del motor*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>. Consulta: 13 de enero de 2018.

Existen varios tipos de modificaciones que se pueden realizar a este conjunto, principalmente, el reemplazo de varias piezas originales por piezas de rediseño más livianas y con mayor resistencia mecánica y pueden ser reemplazadas según la modificación que se desee, tomando en cuenta que la meta es mejorar el desempeño del motor considerando las modificaciones de la parte superior de la culata, cámara de compresión, mejora del flujo volumétrico y reemplazo de un árbol de levas.

#### **4.2.1. Cojinetes de bancada y biela**

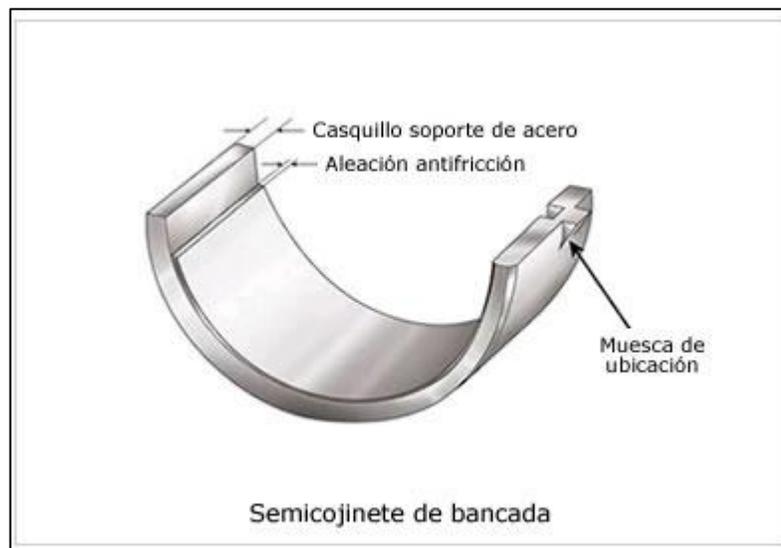
La unión del cigüeñal a la biela y el montaje de sus apoyos sobre el cárter del bloque se realiza a través de unos cojinetes especiales en dos mitades llamados semicojinetes de biela o bancada.

Debido a las condiciones duras de trabajo a que están sometidos deben reunir las siguientes características:

- Resistencia al gripado, para evitar el riesgo de micro soldadura. Se emplea para ello materiales o afines con el cigüeñal.
- Facilidad de incrustación, para que las impurezas, que se introducen con el aceite entre las superficies en contacto, se incrusten en el material del cojinete y de esta forma no dañen el cigüeñal: maleabilidad, para absorber las pequeñas deformaciones producidas en la alineación de los elementos.
- resistencia a la fatiga, para que soporten las cargas a que están sometidos, resistencia a la corrosión, que producen los agentes químicos que pasan al cárter procedente de la combustión o diluido en el aceite de

engrase. Gran conductibilidad térmica, para evacuar el calor producido por rozamiento en el cojinete.

Figura 24. Descripción de un cojinete de motor



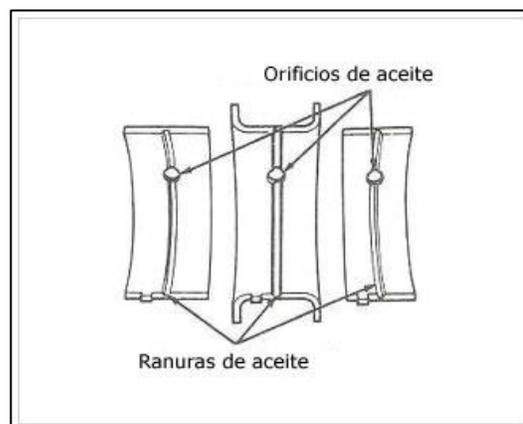
Fuente: *Cojinete de motor*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>. Consulta: 13 de enero de 2018.

Estas aleaciones proporcionan un rozamiento suave y evitan el desgaste del cigüeñal. Al mismo tiempo, gracias a su bajo punto de fusión, si se calienta excesivamente por falta de engrase, el cojinete se funde y así evita el agarrotamiento del cigüeñal con los elementos de unión. Cuando se produce la fusión de una de las bielas, la holgura resultante ocasiona un golpeteo característico que se conoce en el argot automovilístico como biela fundida.

#### 4.2.1.1. Ranuras de lubricación

La garantía de un perfecto rodaje y de la conservación de la forma geométrica y las dimensiones del orificio de un cojinete depende en gran parte de la eficacia del sistema de engrase. Por esta razón, es importante conocer la forma y situación que deben tener las ranuras y orificios de engrase del cojinete con el fin de garantizar una adecuada lubricación.

Figura 25. Características de un cojinete



Fuente: *Cojinete*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>.

Consulta: 13 de enero de 2018.

#### 4.2.1.2. Cojinetes axiales

El cigüeñal va provisto también de cojinetes axiales que soportan los esfuerzos producidos por el accionamiento del embrague. Se disponen axialmente en ambos lados de uno de los soportes de bancada.

Figura 26. **Cojinetes axiales**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.2. Volante de inercia**

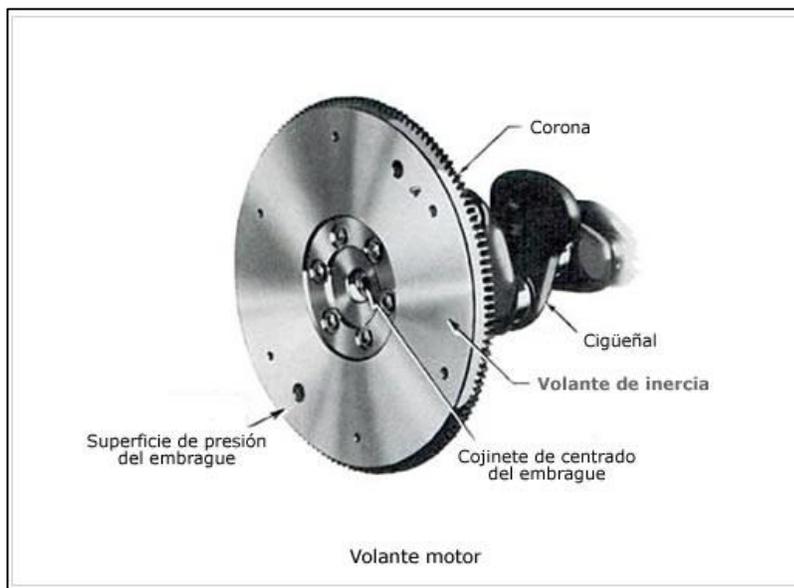
El volante de inercia es una pieza circular pesada unida al cigüeñal cuya misión es regularizar el giro del motor mediante la fuerza de inercia que proporciona su gran masa. Su trabajo consiste en almacenar la energía cinética durante la carrera motriz y cederla a los demás tiempos pasivos del ciclo de funcionamiento.

El diseño del volante debe ser calculado, sobre todo su peso, teniendo en cuenta las características del motor. Un peso excesivo del volante se opone a una buena aceleración del motor.

El volante se fabrica en fundición de hierro, que se obtiene por colada en moldes y después se mecaniza en todas sus partes para equilibrar su masa. En su periferia se monta la corona de arranque en caliente y, una vez fría, queda ajustada perfectamente a presión en el volante.

El volante debe ser equilibrado independientemente y después montado con el cigüeñal para obtener en conjunto la compensación de masas.

Figura 27. Descripción de un volante de motor



Fuente: *Volante de motor*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>. Consulta: 13 de enero de 2018.

#### 4.2.3. Mediciones importantes de conjunto de cigüeñal y cojinetes para un motor modificado

Es necesario tener en cuenta muchos parámetros para el armado de un motor modificado debido a que las cargas y los esfuerzos serán mucho más; por esto, es necesario tener en cuenta la medición de la holgura de sus componentes para obtener una mejor distribución de lubricante y evitar la fricción en todo momento.

Siendo el cigüeñal un elemento rotativo y recíproco a la vez, debe poseer todas las superficies de los muñones totalmente circulares y debe evitarse cualquier cambio de geometría de circular a ovalada dado a que esto puede afectar físicamente el contacto de los cojinetes y la salud total del motor que puede ocasionar una falla catastrófica del mismo; para esto se recomienda seguir una guía de medidas de holgura entre el cigüeñal y los cojinetes; también, documentarla para guardar el historial de armado o también replicarla en otro motor que se asemeje a las características del que se modificó.

Existen dos maneras de realizar la comprobación de holguras en un motor: la primera trata de medir los diámetros del cigüeñal y el diámetro de las bancadas armadas y la diferencia de los dos diámetros interno de las bancadas y externo del muñón del cigüeñal. El segundo método se recomienda únicamente para corroborar las medidas especificadas posteriores al maquinado y se efectúa montando el cigüeñal sobre las bancadas con los cojinetes instalados totalmente limpios y sin lubricante.

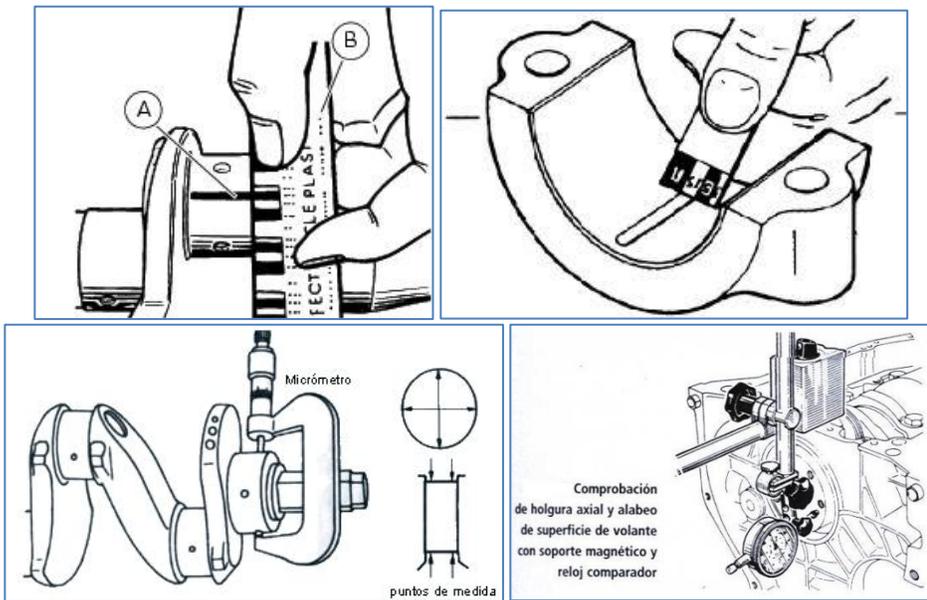
Luego de montar el cigüeñal se coloca una tira de cera especial calibrada para medición de holguras; después, se instala la parte superior de la bancada y se aprieta de acuerdo a especificaciones del fabricante; finalmente, se aflojan los pernos y se desmonta la tapa superior de la bancada quedando abierta la parte superior y en ella la cera presionada en la superficie del cigüeñal; esta tiene un patrón de aplastamiento que puede ser medido con una escala impresa que posee el empaque de la tira de cera, la cual está dada en fracción de milímetros o pulgadas.

Tabla III. Tolerancia de holguras entre cigüeñal y cojinetes

Cojinetes	Tolerancia
Bancada principal	(0,0330 - 0,0508) mm
Biela	(0,0330 - 0,0457) mm
Axial	(0,127-0,254) mm

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Medición de holguras de cigüeñal



Fuente: *Holgura de cigüeñal.*

[http://4.bp.blogspot.com/\\_a5IUxZAz1AE/SKtt7nSwpGI/AAAAAAAAAFQ/IFAbBfH2GMI/s1600-h/cigue%C3%83%C2%B1a15.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_a5IUxZAz1AE/SKtt7nSwpGI/AAAAAAAAAFQ/IFAbBfH2GMI/s1600-h/cigue%C3%83%C2%B1a15.jpg). Consulta: 14 de enero de 2018.

### **4.3. Alivianado y balanceo de cigüeñal**

Es muy importante tratar de contrarrestar cualquier tipo de vibración que afecte a un motor dado que la vibración puede dañar la armonía de los conjuntos reciprocantes puede ocasionar fricción entre las superficies de cigüeñal y cojinetes y colabora para ocasionar una falla catastrófica del motor.

Los fabricantes de motores y de cigüeñales tienen la tarea principal de efectuar un balanceo dinámico del conjunto rotativo de un motor para acercar los centros de masa y geométricos y lograr un movimiento sin vibración por desbalance para prolongar la vida del motor.

La modificación más común en un cigüeñal trata de alivianar su masa eliminando masa de sus contrapesos por medio de un maquinado muy preciso realizando un corte afilado que se denomina filo de navaja; posteriormente, es necesario realizar un balance dinámico, el cual se realiza en una máquina especial para balancear ejes y cuerpos rotativos para contrarrestar cualquier desbalance que pueda ocasionar una vibración no deseada en el conjunto. Para esto es necesario realizar varias pruebas en conjunto de todos los componentes que vayan a estar sujetos al motor cuando este sea armado, por ejemplo, cuñas, poleas frontales y volantes de inercia. Este paso es muy importante para lograr un resultado positivo en la modificación de un motor.

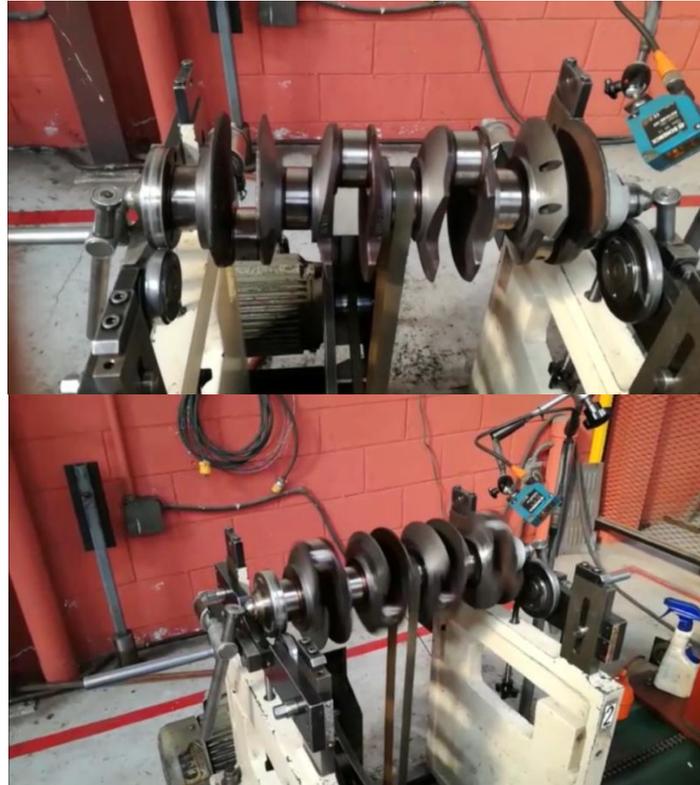
Figura 29. Cigüeñal antes y después de alivianar y volante de inercia



Fuente: elaboración propia.

La reducción de masa de los contrapesos de un cigüeñal y volante de inercia influye considerablemente en comportamiento del conjunto rotativo ya que a menor masa en giro, también, es menor el peso en rotación y el trabajo para hacerle girar es mucho menor incrementando también la velocidad de pistón, lo cual se puede resumir en un desarrollo de potencia en menor tiempo y menor trabajo; lo cual, además, puede influir en la pérdida de fuerza par del motor, pero se asegura una ganancia considerable de potencia.

Figura 30. **Balance dinámico de cigüeñal de motor**



Fuente: elaboración propia.



## **5. CILINDRO, PISTÓN Y BIELA**

### **5.1. Características de un pistón**

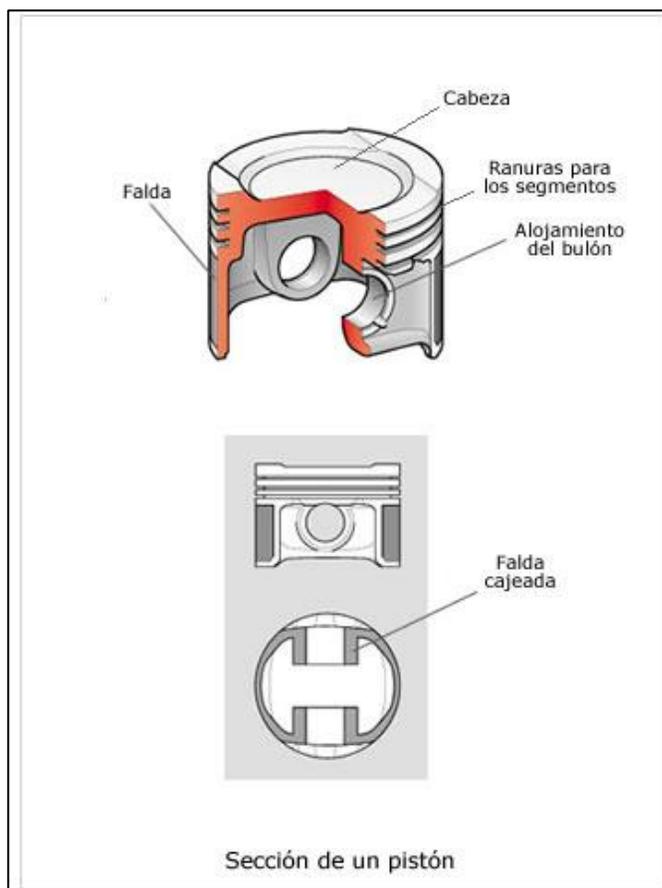
En la carrera de explosión, el pistón recibe un fuerte impulso por su parte superior que lo lanza del PMS hacia el PMI. Este impulso se transmite al cigüeñal por medio de la biela. La fuerza que actúa sobre la cabeza del pistón en el momento de la explosión depende del tipo del vehículo de que se trate, pero puede suponerse de 1 500 kg. Este impulso lanza al pistón hacia abajo con una velocidad lineal aproximada de 12 m/s en un motor que gire a 5 000 rpm. Las temperaturas medias que alcanza el pistón durante el funcionamiento oscilan entre los 300 °C a 400 °C.

El pistón, por tanto, deberá ser resistente para soportar las presiones y elevadas temperaturas que se desarrollan en el momento de la explosión y tener un peso reducido para atenuar los efectos de inercia debidos a la gran velocidad con que se mueven.

Una de las características importantes del pistón es la precisión de algunas de sus medidas debido a la extremada exactitud de su acoplamiento con el cilindro para mantener la estanqueidad. También, hay que considerar la influencia de la dilatación de los materiales empleados. Si el émbolo se ajusta en frío, al producirse la dilatación, se agarrota. Si por el contrario, se ajusta en caliente, con el motor frío se produce un cabeceo en el émbolo que golpea las paredes del cilindro. Debido a esto se requiere el empleo de materiales con un reducido coeficiente de dilatación térmica, muy difícil de conseguir con las aleaciones ligeras.

Un embolo es semejante a un vaso invertido, completamente hueco para reducir al máximo su peso. Está formado por una cabeza destinada a recibir los esfuerzos de empuje, en el cual se mecanizan las ranuras que contienen los aros o segmentos encargados de hacer el cierre hermético con el cilindro. La parte inferior llamada falda, sirve de guía al embolo en su desplazamiento por el cilindro. En ella se sitúa el alojamiento destinado al ajuste del bulón de amarre con la biela, a través del cual se transmiten los esfuerzos de empuje.

Figura 31. **Componentes de un pistón**



Fuente: *Componentes del pistón*. <http://www.aficionadosalamecanica.net/motor-elementos-moviles.htm>. Consulta: 14 de enero de 2018.

La cabeza del émbolo puede ser plana o adoptar formas especiales destinadas a provocar la turbulencia del gas o con protuberancias en forma de deflector para conducir los gases, También, los pistones pueden tener rebajes para no interferir con las válvulas.

Teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento a que están sometidos, los émbolos deben reunir las siguientes características: disponer de una estructura robusta, sobre todo en las zonas de mayor esfuerzo, la cabeza y el alojamiento del bulón; tener el menor peso posible y estar perfectamente equilibrados en todos los cilindros, máxima resistencia al desgaste y a los agentes corrosivos, mínimo coeficiente de dilatación, gran conductibilidad térmica.

## **5.2. Selección del tipo de pistón según el requerimiento para la modificación**

Un pistón de alto desempeño se caracteriza por estar construido y maquinado partiendo de un bloque de material de aleación muy liviana y resistente, a diferencia de un pistón de producción en serie que es más pesado fabricado a partir de una fundición con un molde prefabricado; tienden a no soportar modificaciones de incremento de relación de compresión, por tanto, un pistón de alto desempeño tiene un costo elevado comparado con un pistón de fabricación en serie.

La selección del pistón adecuado para lograr un resultado satisfactorio dependerá también del tamaño de la cámara de combustión y de la relación de compresión que se desea alcanzar y los fabricantes de pistones especiales predicen la relación de compresión con base en las diferentes geometrías de la cabeza y cilindrada de cada motor, según el espesor del empaque de culata,

para la instalación de este tipo de pistones es necesario cumplir con las especificaciones de su fabricante; entre estas: la holgura entre cilindro y pistón. Si la holgura del pistón es más cerrada que la recomendada por el fabricante se corre un riesgo muy alto de que el motor sufra una falla catastrófica que puede ocurrir desde el primer arranque del motor.

Figura 32. **Pistones de diferentes relaciones de compresión**



Fuente: *Pistones*. [https://www.rollaclub.com/wiki/index.php?title=Tech:Engine/A\\_Series/Internals](https://www.rollaclub.com/wiki/index.php?title=Tech:Engine/A_Series/Internals)  
<https://tomson.com.pl/product-eng-2124-Wiseco-forged-pistons-Toyota-Corrolla-4AGE-16v-81-5-mm-CR-11-00-1.html>. Consulta: 14 de enero de 2018.

### 5.3. Cálculo de relación de longitud de la biela y altura del bulón del pistón

El largo de las bielas juega un papel muy importante en el desempeño de un motor; en algunos casos, los fabricantes de motores juegan con la longitud de la biela utilizando siempre el mismo tipo de bloque y logrando un mejor desempeño en los motores de producción de los automóviles; existe una relación directa entre la carrera del pistón y el largo de la biela que da un valor el cual puede incrementar para alcanzar el mayor desempeño de un motor.

Es necesario tomar en cuenta que la altura de la biela no debe afectar la altura máxima de la cabeza del pistón respecto a la superficie del bloque; para esto, los fabricantes de pistones especiales pueden ofrecernos pistones con la altura del pasador del pistón desfasada hacia arriba o hacia debajo de su centro original según el requerimiento.

La relación de largo de la biela versus la carrera del pistón está definida con un valor adimensional cuyo resultado es dado al dividir el largo de la biela actual dentro de la carrera de pistón tal como se especifica en la ecuación:

$$\gamma = \frac{L_b}{C}$$

Donde:

- $\gamma$  = relación de biela, adimensional
- $L_b$  = largo de biela en mm
- $C$  = carrera de pistón en mm

Se debe considerar que los valores de relación de la biela no deben ser menores a 1,6 y no mayores de 2,1, ya que se ha comprobado en pruebas de dinamómetro que con esta relación se ha logrado obtener mayor potencia y fuerza par de un motor de las mismas características pero con diferente largo de biela.

Figura 33. **Diferencia de bielas y pistones para un mismo motor**



Fuente: *Diferencia de bielas y pistones*. <http://www.superstreetonline.com/how-to/engine/htup-0706-dart-b-series-engine-block-built/>. Consulta: 14 de enero de 2018.

#### 5.4. Selección de biela

Una biela de fabricación especial se construye a partir de las dimensiones de una biela de fabricación en serie con la diferencia de los materiales más livianos y resistentes que los originales, esto para soportar altas cargas, temperaturas y velocidades.

Existen diferentes geometrías y construcciones; entre las más comunes y recomendadas están las bielas de perfil de H, perfil de cruz y perfil de I.

Para seleccionar una biela para modificar un motor es necesario saber cuál será la potencia que se desea alcanzar: la relación de compresión de un motor y el coeficiente de relación de biela; es necesario hacer una comparación entre el peso de las bielas y que el conjunto tengan un peso muy semejante o aproximado para evitar un posible desbalance en el sistema móvil del motor.

Para modificar un motor y mejorar su desempeño y durabilidad es recomendado reemplazar las bielas originales por un conjunto de bielas nuevas especiales y livianas.

Figura 34. **Tipos comunes de perfil de construcción de bielas**



Fuente: *Construcción de bielas*. [http://volvospeed.com/~volvo/Mods/connecting\\_rods.html](http://volvospeed.com/~volvo/Mods/connecting_rods.html).

Consulta: 14 de enero de 2018.

Figura 35. **Verificación del peso de conjunto de bielas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Conjunto de bielas y pistones especiales**



Fuente: elaboración propia.

## **5.5. Maquinado y acabado del cilindro**

Los cilindros son la parte más importante de un motor dado a que en su interior es donde ocurren sus cuatro tiempos; es una parte de construcción robusta y resistente a la fricción, altas temperaturas y deformaciones; por tanto, el maquinado, el acabado y cumplir con las medidas geométricas precisas es un principio al cual no se puede pasar por alto.

Luego de maquinar un cilindro es preciso marcar un patrón de rallado en el cilindro proveyendo una rugosidad la cual es necesaria para lograr la adherencia de aceite lubricante y disminuir la fricción del pistón y los anillos de compresión contra el cilindro; a este patrón de rallado se le denomina patrón de bruñido.

Es necesario comprender que el bruñido es el paso final para determinar las dimensiones deseadas entre un cilindro y un pistón; también, es muy importante para la modificación de un motor que el patrón de bruñido sea uniforme y fino para disminuir la probabilidad de arrastres y desgaste prematuro de los anillos de compresión y de las faldas de los pistones.

En el bruñido se ha comprobado que la geometría de un cilindro mejora el desempeño de un motor siempre y cuando sea de acabado fino y el cruce de su rallado sea uniforme. También, se debe tener en cuenta que al momento de armar el motor y de instalar la culata sobre la parte superior del bloque, los cilindros sufren una deformación la cual es el producto de someterse a cargas de tensión y compresión por el efecto del apriete de los pernos de culata; esto como efecto secundario del armado puede ocasionar pérdidas por sello ineficiente de los anillos de compresión y consumo de aceite por combustión.

Para contrarrestar el efecto de apriete sobre los cilindros, se ha diseñado una plancha metálica con el espesor suficiente para simular el efecto de apriete de la culata; se coloca en la parte superior del bloque aplicando el apriete específico del motor para luego proceder con el bruñido para obtener un cilindro perfecto bajo condiciones de trabajo y previendo las pérdidas de compresión y consumo de lubricante por combustión.

Figura 37. **Patron de bruñido**



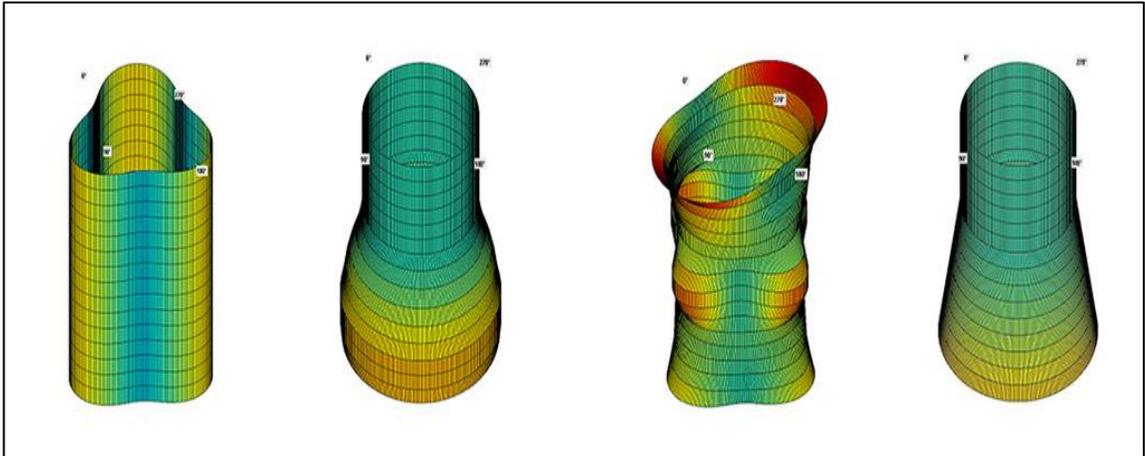
Fuente: *Patrón de bruñido*. <http://www.maq-fer.es/data/brunido.html>. Consulta: 14 de enero de 2018.

Figura 38. **Plancha simuladora de culata para bruñido de cilindros**



Fuente: *Plancha simuladora*. <https://www.ecstuning.com/b-integrated-engineering-parts/18t-torque-plate/ietlva3~int/> , <http://dsportmag.com/uncategorized/quick-tech-the-benefits-of-lowering-crankcase-pressure-part-1/>. Consulta: 14 de enero de 2018.

Figura 39. **Distorsión de un cilindro por el apriete de la culata**



Fuente: *Distorsión de un cilindro*. <https://www.gehring.de/en-ww/form-honing>. Consulta: 15 de enero de 2018.



## **6. PRUEBA FINAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ANTES Y DESPUÉS DE LA MODIFICACIÓN**

Como último paso, para confirmar el resultado de las modificaciones con la mejora del desempeño de un motor, es necesario realizar una prueba y puesta a punto en un dinamómetro, ya sea de banco de chasis.

### **6.1. Prueba práctica en dinamómetro**

Es necesario tomar en cuenta que para esta prueba el motor debe ser montado e instalado en las condiciones de operación; es decir, montado en el vehículo o montado en las bases del dinamómetro de banco; se deben fijar los parámetros en el equipo de pruebas y realizar una serie de corridas a rpm máximas del motor para obtener la potencia y fuerza par máximas.

Es necesario realizar una sucesión de corridas en el dinamómetro ya que es necesario realizar ciertos ajustes para garantizar que se obtendrá la potencia máxima con base en las modificaciones realizadas al motor.

### **6.2. Puesta a punto**

La puesta a punto no es más que el ajuste de los parámetros de funcionamiento de un motor en el momento que se realiza la prueba de dinamómetro; estas son las siguientes:

- Ajuste de avance de chispa para aprovechar al máximo la combustión del motor.
- Ajuste correcto de la presión de entrega de combustible previo al ingreso a la admisión de la culata.
- Posicionamiento del árbol de levas, la cual es posible si el árbol de levas posee un engranaje con correderas ajustables; esto se recomienda y da resultados con base en los requerimientos de potencia o de fuerza par.
- Monitoreo de temperatura de operación del motor.
- Monitoreo de la calidad de combustión por medio de una sonda lambda.

Es necesario tomar nota de todos los ajustes para tomarlos como referencia posterior a las pruebas de dinamómetro.

### **6.3. Análisis de la gráfica: potencia versus fuerza par**

Como resultado final de cada corrida de prueba en el dinamómetro, la computadora acoplada al equipo genera una gráfica en la cual se pueden interpretar las curvas de potencia de la fuerza par y la relación de calidad de mezcla por medio del análisis de una sonda lambda que mide los gases de combustión.

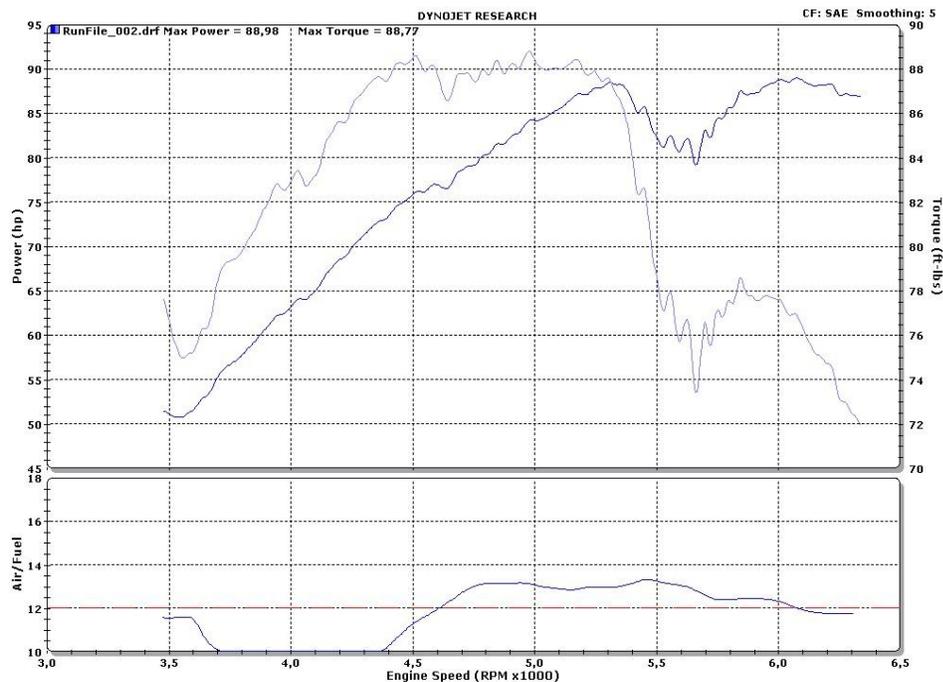
Esta gráfica genera un parámetro de comparación cuando el motor está siendo puesto a punto y concluir cuál es la combinación exacta de ajustes para obtener la máxima potencia y fuerza par.

Esta es la prueba concluyente que garantiza que la modificación de un motor alcanzó la mejora deseada de su desempeño y también se comprueba que los cálculos y las modificaciones fueron las correctas.

#### 6.4. Caso práctico

Se documentó a modificación de un motor con cilindrada de 1 800 cc el cual originalmente contaba con 88,9 HP y fuerza par de 88,7 Lbf\*pie, con una relación de compresión de 9.5:1 la culata compuesta por válvulas de diámetro original y un eje de levas original con una duración de 215° y una apertura total de válvula de 9,5 mm; previo al desarme del motor se realizó la prueba en un dinamómetro de chasis.

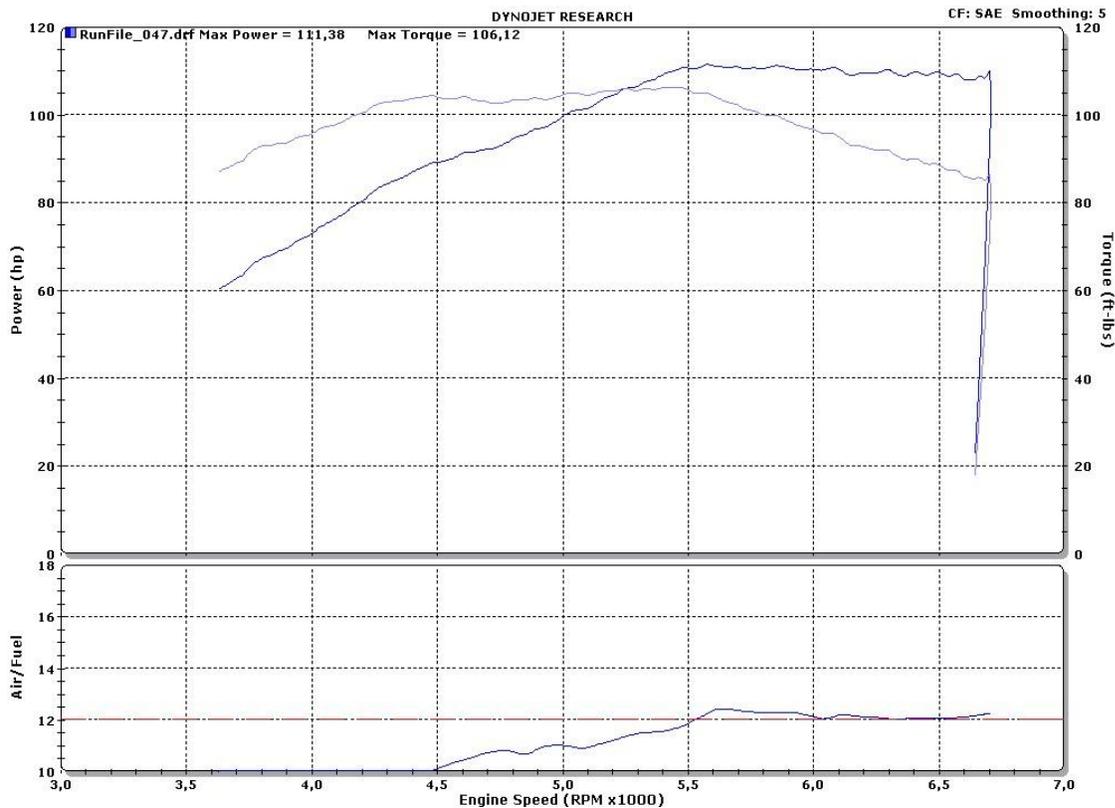
Figura 40. Prueba inicial de dinamómetro



Fuente: elaboración propia.

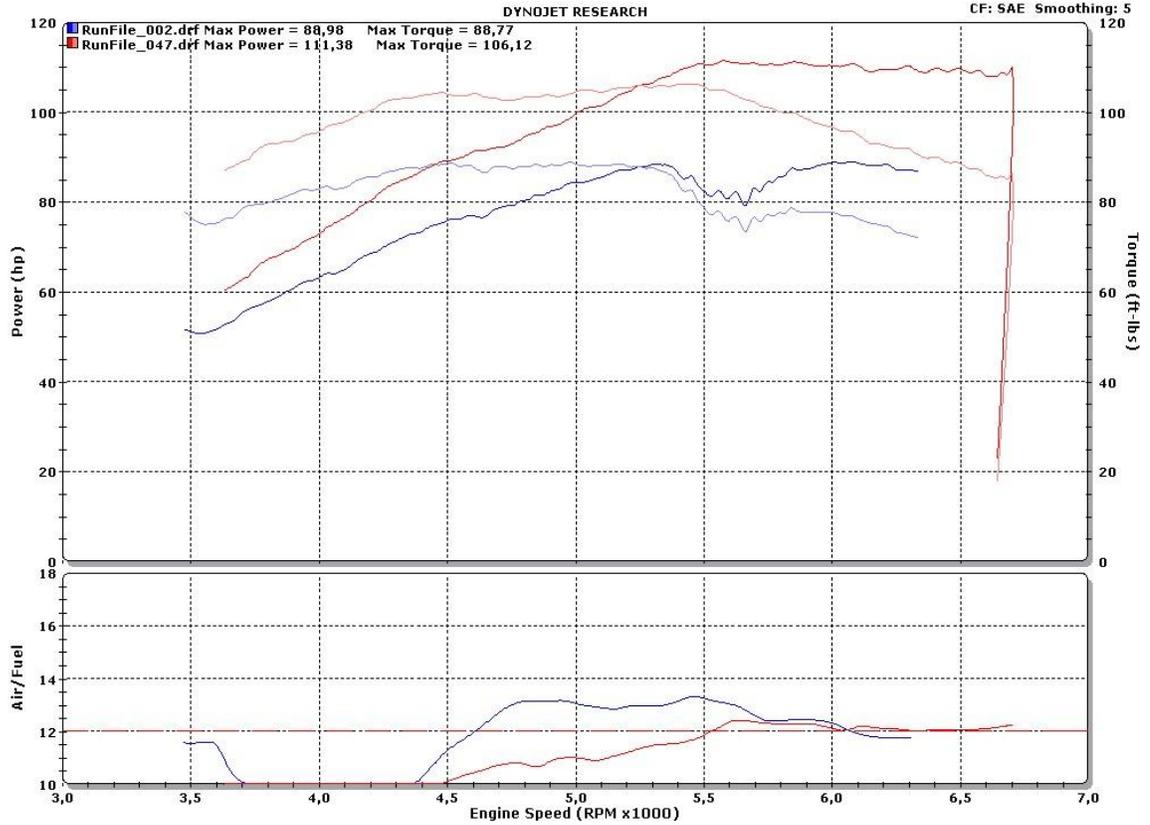
Luego de realizados los maquinados para el rearmado del motor, se procedió a instalar un set de pistones especiales para alcanzar un radio de compresión de 12.2:1; se realizó un alivianado de bielas para que las cuatro bielas tuvieran el mismo peso y evitar cualquier desbalance; también, se procedió a mejorar la superficie de los portes de la culata y se instaló un eje de levas con una duración de 288° y una apertura de 11,5 mm y se obtuvo un resultado óptimo con la mejora de potencia y fuerza par de 111,38 HP y 106 Lbf\*pie. El resultado total fue de una mejora de 22,4 HP y 17,35 Lbf\*pie de fuerza par del motor.

Figura 41. Prueba de motor modificado en dinamómetro



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Comparación de prueba inicial y resultado final en dinamómetro



Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Es necesario tener el conocimiento del funcionamiento de un motor ciclo Otto para aplicar de forma correcta cualquier tipo de modificación y obtener una mejora en su desempeño.
2. Es necesario llevar un control documentado de los procedimientos que se realizaron para tener un parámetro comparativo de antes y después de la modificación y su resultado.
3. Un motor ciclo Otto puede ser modificado y confiable siempre y cuando se sigan las recomendaciones y se utilicen los componentes indicados.
4. Luego de armar un motor es necesario ajustar sus parámetros de operación como presiones de entrega de combustible, ajuste de adelanto de chispa, calibración de holguras de válvulas, si fuera necesario, y, para lograr una puesta a punto satisfactoria, es necesario hacer una prueba en dinamómetro para ajustar su funcionamiento usando como referencia las gráficas de potencia y fuerza par como resultado de las pruebas de dinamómetro.
5. Se concluyó que un motor ciclo Otto puede ser modificado y reconstruido de manera que se pueda mejorar su desempeño y así alcanzar una mejora en la eficiencia sin afectar la confiabilidad del mismo siempre que se modifique bajo estándares de mediciones y cálculos para obtener un resultado certero.



## RECOMENDACIONES

1. Al momento de realizar una modificación se recomienda que el montaje de las partes y el armado del motor se lleve a cabo en un recinto limpio y que todas las piezas estén debidamente limpias para evitar daños en el armado y en el arranque.
2. Se recomienda hacer un levantamiento de datos por escrito donde se incluyan los resultados de mediciones y cálculos; también, un levantamiento fotográfico de la secuencia de armado con el fin de evitar errores que puedan poner en riesgo la salud de un motor modificado; también, formar un archivo de datos por cada motor que sea modificado.
3. Se recomienda seguir los pasos descritos en este documento para obtener una modificación que tenga como resultado una mejora del desempeño de un motor y que sea satisfactorio.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BLAIR, Gordon. *Design and Simulation of four stroke engines*. Estados Unidos de América: SAE, 1999. 44 p.
2. LAWLOR, John. *Auto Math Handbook*. Estados Unidos de América: HP Books, 1999. 91 p.
3. PÉREZ BELLO, Miguel Angel. *Tecnología de los motores*. 3a ed. España: CIE, Inversiones editoriales, Dossat, 2000. 738 p.
4. STAHL, Jere. *Rod Length Relationships*. [En línea]. <[www.stahlheaders.com](http://www.stahlheaders.com)>. [Consulta: 1 de enero de 2018].
5. VIZARD, David. *How to port and flowbench cylinder heads*. Estados Unidos de América: Cartech Inc, 2000. 50 p.
6. VOEGLIN, Rick. *Step by step guide to engine blueprinting*. Estados Unidos de America: Cartech Inc, 2005. 155 p.
7. YUNICK, Smokey. *Power secrets*. Estados Unidos de América: Cartech Editorial, 1999. 207 p.

