



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Estudios Superiores Aragón**

**Análisis y prácticas del motor de combustión interna empleando  
un sistema de adquisición de datos (SAD)**

**Tesis que para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica,  
presentan:**

**Alan Irving Domínguez Hernández**

**Irving Rubén Santillán Becerra**

**Asesor: Ing. José Antonio Avila García**

**México 2015**



FES Aragón

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>3</b>
OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>4</b>
<b>GENERALIDADES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA</b> .....	<b>4</b>
1.1 SÍNTESIS HISTÓRICA .....	4
1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES .....	7
1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES.....	9
1.4 APLICACIONES DE LOS MOTORES ENDOTÉRMICOS.....	25
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>27</b>
<b>PRUEBAS REALIZADAS A MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA Y PARÁMETROS REQUERIDOS</b> .....	<b>27</b>
2.1 TIPOS DE PRUEBAS.....	27
2.2 DIAGRAMA INDICADO Y PARÁMETROS .....	33
2.3 PARÁMETROS DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA. ....	35
2.4 CÁLCULOS PARA EL CICLO OTTO IDEAL .....	36
2.5 CÁLCULOS REALES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA. ....	40
2.6 MEDICIONES REALIZADAS DURANTE LA PRUEBA.....	43
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>50</b>
<b>EQUIPO PARA ENSAYO DE MOTORES</b> .....	<b>50</b>
3.1 BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS. ....	51
3.2 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA MOTORES ENDOTÉRMICOS. ....	52
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>63</b>
<b>PRACTICAS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EMPLEANDO EL EQUIPO SAD</b> .....	<b>63</b>
PRÁCTICA NÚMERO 1. NORMAS DE SEGURIDAD, PROCEDIMIENTO DE PARO Y PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE. ....	64
PRÁCTICA NÚMERO 2. DIAGRAMA INDICADO.....	79
PRÁCTICA NÚMERO 3. PARÁMETROS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	91
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>100</b>

## Introducción

Son importantes las asignaturas en las cuales se debe de tomar teoría y cursar una parte práctica de la misma, haciendo pruebas en el laboratorio con los diversos equipos instalados en el mismo, con el fin de que el alumno se empiece a familiarizar con distintos tipos de máquinas y su estudio.

El laboratorio L2 en el área de fluidos cuenta con un banco de pruebas para motores de combustión interna, el cual permite estudiar a los mismos con mayor profundidad.

Con la finalidad de apoyar al profesor y al alumno en el empleo del equipo, se realiza el presente trabajo, el cual cuenta con la información indispensable para el funcionamiento del equipo de laboratorio, así como las prácticas que se pueden realizar con el banco de pruebas.

En el capítulo 1 se muestra una síntesis histórica de los motores, la clasificación de los motores de combustión, así como las generalidades de los mismos tales como los elementos y sistemas principales.

Una descripción de los diferentes tipos de pruebas a los que puede ser sometido un motor de combustión interna, los parámetros y cálculos teóricos para facilitar el estudio del motor se encuentran en el capítulo 2

En el capítulo 3 se hace una descripción del equipo existente en el laboratorio, así como de los sistemas de adquisición de datos para el análisis del motor de combustión interna.

Dentro del capítulo 4 se muestran las prácticas de laboratorio que se pueden desarrollar para llevar a cabo en el banco de pruebas, las cuales están diseñadas para ayudar a los profesores y alumnos a complementar el conocimiento de los motores de combustión interna mediante estas pruebas.

### **Objetivo General**

Desarrollar prácticas de laboratorio para el motor de combustión interna del laboratorio de térmica y fluidos empleando los equipos de adquisición de datos SAD/CT y SAD/END.

Con la implementación de prácticas se busca beneficiar a un gran número de alumnos de las diversas carreras afines al área, los cuales obtendrán los conocimientos esenciales acerca de los motores de combustión interna y las pruebas realizadas a los mismos, complementando sus asignaturas teóricas y ampliando su conocimiento en el área térmica. Para la carrera de Ingeniería Mecánica se benefician a las asignaturas de Termodinámica y Laboratorio de Maquinas térmicas en los temas de procesos termodinámicos y segunda ley de la termodinámica, con un aproximado de 180 alumnos para cada asignatura en el semestre correspondiente.

Como se mencionó, este trabajo no solo beneficia a los alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica, sino a los demás usuarios del laboratorio los cuales corresponden a las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería Eléctrica Electrónica. Para estas últimas se beneficia a la asignatura de aplicaciones de propiedades de la materia en los temas relativos a procesos termodinámicos, segunda ley de la termodinámica y ciclos termodinámicos respectivamente, con un estimado de 160 alumnos para cada carrera y en el semestre correspondiente.

### **Objetivos particulares.**

#### **Capítulo 1**

Conocer los aspectos esenciales acerca de los motores de combustión interna, desde una breve síntesis histórica, hasta el funcionamiento de sus principales sistemas así como su clasificación.

#### **Capítulo 2**

Mostrar las principales pruebas a las cuales pueden ser sometidos los motores de combustión interna y conocer los parámetros necesarios para el estudio de los mismos.

#### **Capítulo 3**

Describir el equipo empleado en el laboratorio para ensayo de motores, el cual comprende los equipos (SAD), el freno dinamómetro hidráulico y el motor de combustión interna.

## Capítulo 1

### Generalidades de los motores de combustión interna.

Para abordar el tema de motores es de gran importancia conocer diversos aspectos de los mismos, estos aspectos abarcan desde una síntesis histórica, pasando por sus componentes y sistemas principales, hasta sus usos y aplicaciones en general.

#### 1.1 Síntesis Histórica

Los motores de combustión interna usados en la actualidad constituyen diversas técnicas recientes pero que han sufrido un rápido desarrollo. Es de gran importancia conocer algunos detalles de su génesis y de su evolución hasta llegar a su configuración actual. A continuación se muestra una clasificación de los motores endotérmicos, así como la cronología del desarrollo de los mismos.

#### Motores de pistón de pólvora

1678 **Hautefeuille J. (Francia)** Propone el uso de pólvora negra para accionar un pistón con el fin de bombear agua.

1680 **Huygens C. (Holanda) y Papin D. (Francia)**. Construyen el primer motor de éste tipo: Como defectos de este tipo de motores cabe mencionar la falta de control de la velocidad de explosión y a dificultad de la recarga. Han tenido muy poco desarrollo y han sido útiles para aplicaciones de una sola carrera como por ejemplo, catapulta de aviones.

#### Motores de pistón vacío

1794 **Street R. (Inglaterra)**. Bombeo de aire en el cilindro (a mano), entrada de combustible que se inflamaba debido a la cavidad situada bajo el cilindro. Combustión y expansión elevando el émbolo o pistón que bombeaba agua. Enfriamiento de los gases en camisa con agua y por acción de la gravedad descenso del pistón.

1802 **Rivaz I. (Suiza)**. Su objetivo era construir un automóvil accionado por un motor de combustión. Encendido mediante “pistola eléctrica” de Volta (inductancia).

1824 **Brown S. (Inglaterra)**. Depósitos con aire, inyección de combustible gaseoso, ignición con llama, inflamación de la carga y expulsión de los gases calientes hasta que la presión en el cilindro se iguala con la atmosférica.

1854 **Barsanti E. y Matteucci F. (Italia)**. Solicitaron patente en Inglaterra sobre método de “obtención de potencia motriz mediante explosión de gases”. Basado en pistón de vacío y cremallera que engranaba en el descenso. 2 cilindros y 2 pistones en paralelo en tiempos opuestos. Alimentación de Hidrogeno. Encendido por chispa.

1864 **Otto N.A. y Lagen E. (Alemania)**. Motor de concepción semejante al de Barsanti y Matteucci pero introdujeron un volante de inercia, para efectuar la carrera ascendente e introducir una nueva carga.

### **Motores de pistón accionados por la presión de los productos de combustión (combustible y aire).**

1860 **Lenoir J.J.E. (Francia)**. Motor de combustión interna sin compresión previa. Válvula de corredera. 2 carreras por ciclo. Aspiración de aire y combustible, encendido y explosión, expansión y escape.

### **Motores con combustión previa del aire y combustible**

1799 **Lebon P. (Francia)**. Diseña un motor con compresión previa de aire y combustible.

1838 **Barnett W. (Inglaterra)**. Propone compresión previa en bombas de carga completándose la compresión en el cilindro. Incorpora distribución por lumbreras. Realiza diferentes versiones. Cilindro con émbolo de doble efecto

1861 **Schmidt. (Alemania)**. Propone la compresión previa de la mezcla gas-aire en el proceso Lenoir antes del encendido, indicando que así se aumenta la relación de compresión y rendimiento.

1873 **Brayton G. (Estados Unidos)**. Desarrolló un motor con combustión a presión constante y expansión completa. 2 cilindros, uno para compresión del aire o mezcla, otro de trabajo de gran carrera.

1876 **Otto N. (Alemania)**. Primer representante del motor alternativo de combustión interna de 4 tiempos y de encendido provocado. El llamado “Silent Otto”. Se construyó primeramente en la “Gasmotorenfabrik Deutz AG” (Alemania) y posteriormente bajo licencia de diferentes países (Austria, Suiza, EUA). Otto apoyó las ventajas de una combustión estratificada.

Su prototipo tenía las siguientes características:

Diámetro del cilindro.....	161.0 mm
Carrera.....	320.0 mm
Presión al final de la compresión.....	2.36 Atm
Potencia efectiva.....	3.0 CV
Régimen de velocidad.....	185.0 rpm

**Otto** contrató como ingenieros a **Daimler G.** y a **Maybach W.** Posteriormente Daimler se independizó y fabricó el primer motor alimentado con bencina (1ª motocicleta en 1886).

1885 **Atkinson (Inglaterra)**. En el intento de un mejor aprovechamiento de la entalpia de los gases resultantes de la combustión diseñó un motor cuya carrera de expansión sea mayor que la de compresión para conseguir que los gases quemados se expandieran hasta una presión más cercana a la atmosférica y así mejorar el rendimiento.

1892 **Diesel R. (Alemania)**. Propone la compresión previa del aire para que adquiriera una temperatura suficiente para inflamar el combustible. Pretendía coordinar el flujo másico de combustible inyectado con el movimiento del pistón para que se pareciera al ciclo de Carnot.

### Motores alternativos de 2 tiempos.

1891 **Day, J. (Inglaterra)**. Introduce el motor de 2 tiempos de 3 conductos: lumbrera de admisión, conducto de transferencia y lumbrera de escape.



## Motores de émbolo rotativo

1960 **Wankel (Alemania)** Presenta el primer motor de pistón rotativo operacional Ciclo Otto. Pistón en forma de triángulo curvilíneo. Gira en un cárter de forma peritrocoide, refrigerado por agua o aire. 3 cámaras de trabajo de volumen variable en forma de hoz. El pistón tiene movimiento de giro rodando una corona dentada por el interior, fija a él.

La firma NSU lo instaló en un automóvil en configuración birrotor RO80. La empresa japonesa MAZDA también lo desarrolló bajo licencia (**Muroky, T. 1984**) y es la única firma que actualmente lo instala e automóviles.

Se han propuesto versiones **Diesel** en Estados Unidos la NASA tiene un programa de desarrollo para aeroplanos no piloteados.<sup>1</sup>

### 1.2 Conceptos fundamentales

Los motores térmicos son máquinas que tienen la finalidad de transformar la energía térmica en energía mecánica directamente utilizable.

La energía térmica puede provenir de diferentes fuentes primarias: combustibles de varios orígenes, energía eléctrica, energía solar, energía nuclear.

En el caso de los motores endotérmicos, la energía proviene de la combustión de combustibles líquidos o, más raramente, gaseosos. Se puede por lo tanto decir que los motores endotérmicos transforman en energía mecánica, es decir, trabajo útil, la energía química de los combustibles.

El trabajo útil es realizado por órganos en movimiento alternativo, o que giran en movimiento rotatorio o bien directamente por el empuje producido por un chorro de gas.

El movimiento de los órganos que componen los motores térmicos es generado por un fluido llamado de trabajo. Éste realiza el trabajo gracias a variaciones de presión y volumen que son consecuencia de la introducción del calor generado por la combustión, el fluido de trabajo actúa por lo tanto también como vehículo de calor, porque lo introduce en el motor en ciertos puntos del ciclo operativo y lo extrae en otros.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Carreras P. Ramón, 1993, Motores de combustión interna fundamentos, pag. 27-33.

<sup>2</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag 1.

Para comprender lo relativo a los motores endotérmicos es necesario también conocer la terminología que es universalmente empleada, como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1 Terminología de un cilindro.

Concepto	Definición
Punto muerto superior (P. M. S.).	Posición del pistón más cercana a la cabeza del cilindro.
Punto muerto inferior (P. M. I.).	Posición del pistón más lejana a la cabeza del cilindro.
Diámetro o calibre (ingles: bore).	Diámetro interior del cilindro.
Carrera (ingles: stroke).	Distancia entre el P. M. S. y el P. M. I., igual, salvo en raras ocasiones, al doble del radio de manivela del cigüeñal. Medida generalmente en mm.
Volumen total del cilindro ( $V_1$ ).	Volumen comprendido entre la cabeza o culata y el pistón cuando está en el P. M. I. (fig.1.1). Medido generalmente en $\text{cm}^3$ o litros.
Volumen de la cámara de combustión o volumen de espacio libre ( $V_2$ ).	Volumen comprendido entre la cabeza y el pistón cuando éste está en el P. M. S. (fig.1.1). Medido generalmente en $\text{cm}^3$ .
Volumen desplazado por el pistón o cilindrada unitaria ( $V_1 - V_2$ ).	Volumen generado por el pistón con su movimiento desde el P. M. S. y el P. M. I.
Relación volumétrica de compresión ( $\frac{V_1}{V_2}$ ).	Relación entre el volumen total del cilindro $V_1$ y el volumen de la cámara de combustión $V_2$ .

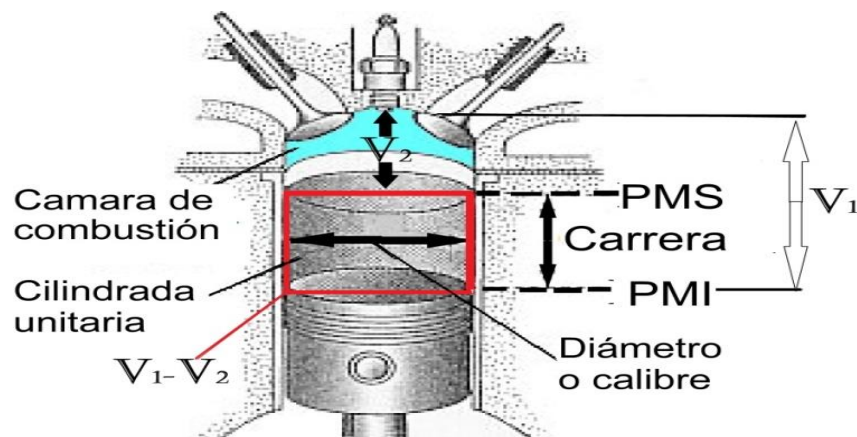


Figura 1.1 Terminología de un cilindro

### 1.3 Clasificación de los motores

A continuación se muestra una imagen donde se observan algunas posibles clasificaciones que pueden tener los motores. (fig.1.2)

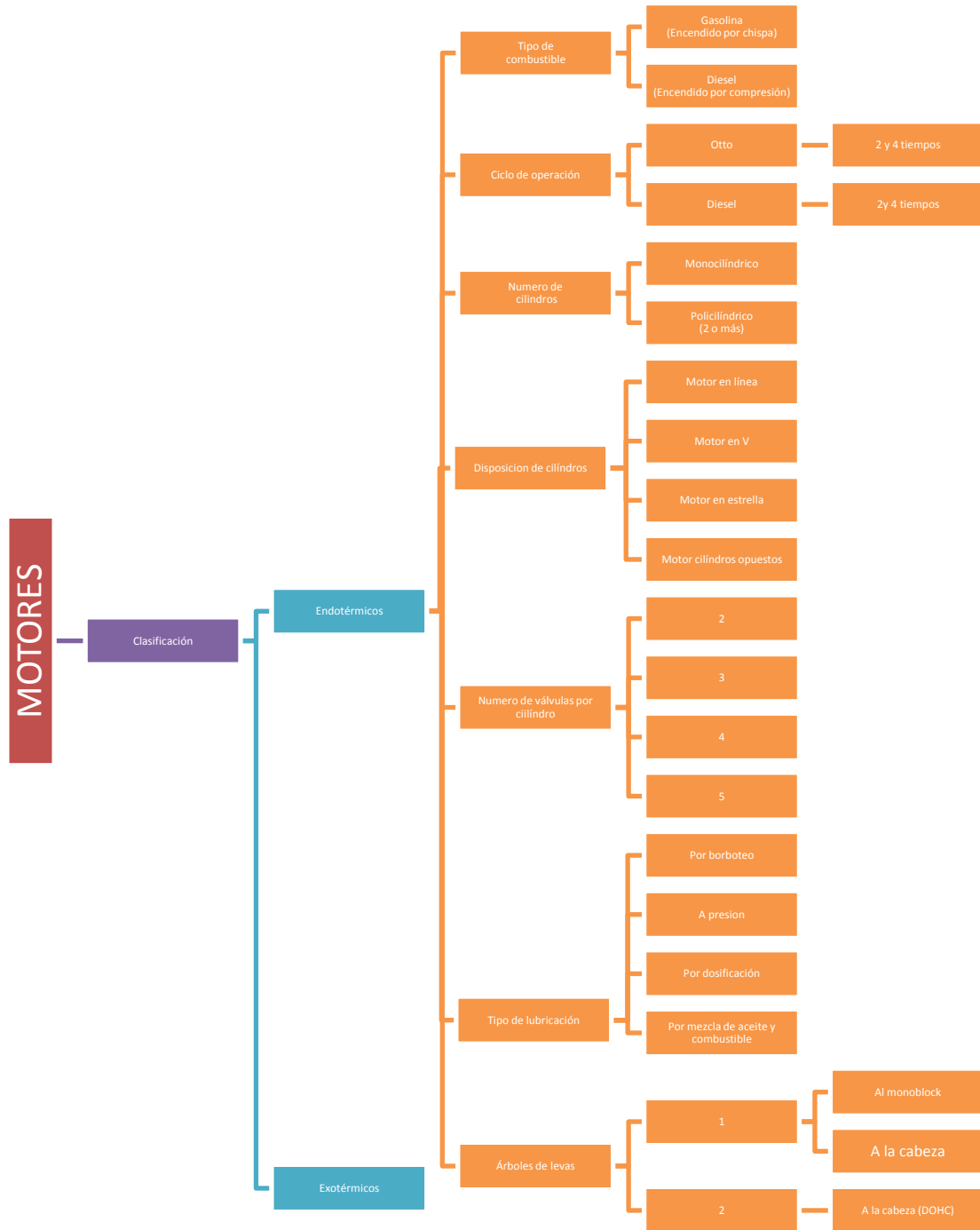


Figura 1.2 Clasificación de motores

## Motores de combustión externa

Los motores son de combustión externa cuando la combustión se produce fuera del fluido de trabajo, y de combustión interna o endotérmica cuando el combustible se quema en el fluido mismo de modo que los productos de la combustión entran también a formar parte de éste. En otras palabras, son motores de combustión externa los motores en los cuales el calor es transmitido al fluido a través de las paredes de una caldera (motores a vapor) (fig. 1.3) o de otros tipos de intercambiadores (motores Stirling y turbinas de gas de ciclo cerrado.)<sup>3</sup>

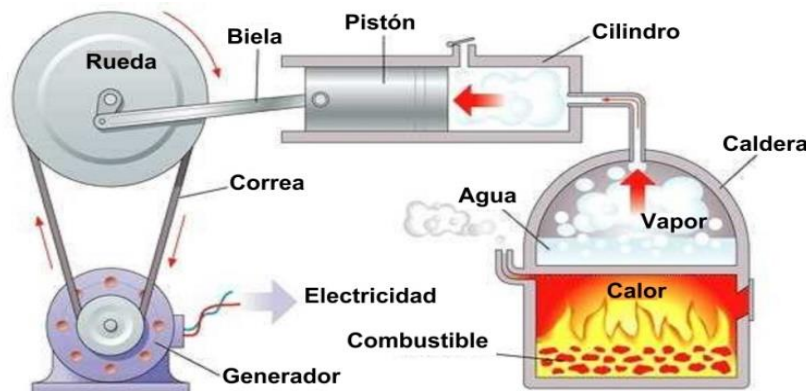


Figura 1.3 Motor de combustión externa a vapor

## Motores de combustión interna

Son endotérmicos los motores en los cuales la combustión se produce en el fluido de trabajo, el cual por lo tanto está parcialmente constituido por una mezcla de combustible y comburente y sufre después una sucesión de transformaciones debidas a la reacción de combustión (fig.1. 4).



Figura 1.4 Motor de combustión interna

<sup>3</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag 1.

El oxígeno necesario para la combustión es proporcionado por el comburente constituido, para los motores que deben funcionar dentro de la atmosfera terrestre, por el aire de la atmosfera misma, aire que tiene la ventaja de costar nada. Para los motores de los vehículos espaciales el comburente es un producto químico, que además del inconveniente del costo tiene que ser transportado en el vehículo mismo junto con el combustible.

En este caso en particular se hablará de los motores terrestres, el fluido de trabajo es un gas que cuando entra al motor está compuesto esencialmente de aire.

El aire participa como comburente en la combustión del combustible introducido, recibe el calor producido alcanzado a una temperatura elevada y después, transformado en gas de escape, sale al exterior a una temperatura más baja.<sup>4</sup>

### **Tipo de combustible.**

Los combustibles, según su composición tienen distinta capacidad para evaporarse y por lo tanto distinta capacidad de mezclarse con el aire, aquellos que fácilmente se mezclan se llaman carburantes y son utilizados en los motores de encendido por chispa (Gasolina), los menos carburantes son utilizados en los motores de encendido por compresión (Diesel).

- Gasolina: En los motores de combustión, se queman hidrocarburos, en este caso gasolina, un compuesto derivado del petróleo ( $C_8H_{18}$ ). Cuando se quema la gasolina en el interior del cilindro del motor, la explosión debe ser tal que empuje al pistón de forma suave y continua. Si la combustión es demasiado rápida, se produce una detonación que hace que el pistón reciba un golpe brusco y se reduzca la eficiencia del motor. El índice de octano de una gasolina es una medida de su capacidad antidetonante. Las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. El índice de octano de una gasolina se obtiene por comparación del poder detonante de la misma con el de una mezcla de isoctano y heptano. Al isoctano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0. Una gasolina de 97 octanos se

<sup>4</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag 1-2.

comporta, en cuanto a su capacidad antidetonante, como una mezcla que contiene el 97% de isooctano y el 3% de heptano.<sup>5</sup>

- Diesel: Durante la destilación fraccionada del petróleo y después de haber extraído las fracciones de gases, bencinas, gasolina y queroseno comienza a destilar la fracción correspondiente al combustible diesel. ( $C_{12}H_{23}$ )

Esta fracción está constituida principalmente por hidrocarburos muy poco volátiles de carácter ligeramente aceitoso que se usa como combustible para los motores diesel.

La fracción de diesel varía de país en país de acuerdo a los estándares nacionales y al petróleo natural utilizado como fuente de materia prima.

El índice que caracteriza al combustible diesel es el número de cetano.<sup>6</sup>

### Ciclo térmico

- Ciclo Otto: La energía que se libera en este se transmite a un pistón móvil: así se produce trabajo mecánico que puede usarse para mover un vehículo. En los motores de ciclo Otto, la combustión se inicia mediante el salto de una chispa eléctrica proveniente de una bujía. Los combustibles de estos motores deben tener capacidad antidetonante, o sea, que no se enciendan antes de recibir la chispa -fenómeno conocido como autoencendido.
- Ciclo Diésel: A diferencia de los motores de ciclo Otto, en los motores Diésel el cilindro no aspira una mezcla de aire y combustible, sino sólo aire. El pistón comprime este aire a una presión alta, elevando mucho su temperatura. En ese instante se inyecta el combustible, que, al encontrarse con el aire caliente, se enciende y va quemándose a medida que entra en el cilindro. Los combustibles que se utilizan deben tener una velocidad de auto ignición adecuada al régimen de operación de cada motor.<sup>7</sup>

<sup>5</sup> <http://www.ciencianet.com>, 03/Oct/14.

<sup>6</sup> <http://www.combustibles.org>, 09/Oct/14.

<sup>7</sup> <http://www.iae.org.ar/archivos/educ1204.pdf>, 09/Oct/14.

### Disposición de cilindros

La unidad básica de trabajo del motor está formada por el cilindro, culata y el pistón. Atendiendo a la disposición de los cilindros, los motores se pueden clasificar en los siguientes tipos: (fig.1.5)

Motor con émbolo buzo		Motor vertical		Motor en H y en líneas de H	
Motor con cruceta		Motor horizontal		Motor en estrella	
Motor de simple efecto		Motor suspendido		Motor de varias estrellas	
Motor de doble efecto		Motor en línea		Motor normal biela-manivela	
Motor de doble émbolo		Motor de doble línea		Motor descentrado	
Motor de contraémbolo		Motor (Boxer) cilindros opuestos		Biela articulada para V, estrella etc. (maestra+bieleta)	
Motor con émbolos en U		Motor en V y en líneas de V		Bielas adyacentes	
Motor compound		Motor en V		Biela en horquilla	

Figura 1.5 Disposición de cilindros<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Carreras P. Ramón, 1993, Motores de combustión interna fundamentos, pag. 35.

A continuación se explican algunas de las configuraciones de los cilindros, las cuales son las más utilizadas.

- Motor en línea: los cilindros están colocados en una sola fila.
- Motor en “V”: los cilindros se disponen en dos planos formando una “V”, siendo los valores habituales 60° ó 90°.
- Motor en estrella: los cilindros se disponen formando una estrella en uno o varios planos.
- Motor de cilindros opuestos: los cilindros se colocan uno frente a otro, cuando disponen de cámaras de combustión independientes los pistones se mueven en dirección contraria, y cuando la cámara de combustión es común los pistones se mueven en la misma dirección.

### Árboles de levas

El árbol de levas puede ser lateral, o en la culata. Cuando está en el monoblock (disposición que facilita el mando desde el cigüeñal), el movimiento alternativo del empujador es transmitido a la válvula por medio de un empujador y de un balancín. Cuando está en la culata el mando de la válvula puede ser directo o bien indirecto; en este último caso el intermediario es un balancín de tipo normal o bien tipo dedo.

Con el eje de levas en la culata la toma del cigüeñal resulta más complicada que con el eje en el bloque, para obtener la baja emisión de ruido de funcionamiento que se requiere en los modernos motores de automóvil. El mando del eje puede hacerse con una cadena o con una correa dentada o con una serie de engranajes cilíndricos, o bien incluso con un eje de reenvío y dos parejas de engranes cónicos o helicoidales. Para el mando con cadena o con correa dentada es necesario, dada la longitud, la aplicación de uno o más tensores, los cuales como su nombre lo dice, generan una tensión sobre las mismas (fig.1.6)<sup>9</sup>

<sup>9</sup> <http://www.uclm.es/profesorado/porrasyoriano/motores/temas/distribucion.pdf>, 17/Oct/2014.



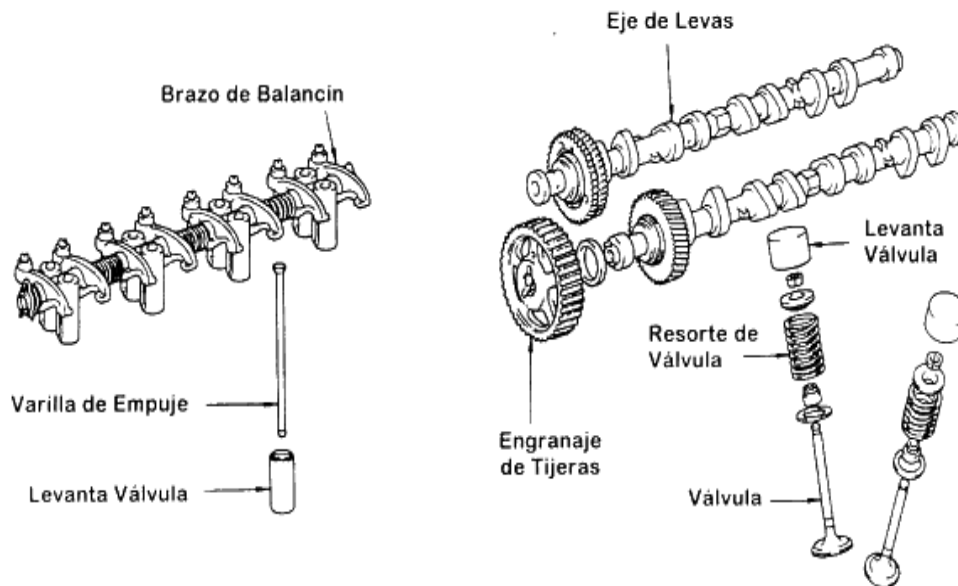


Figura 1.6 Disposición de árbol de levas<sup>10</sup>

### Tipo de lubricación.

La lubricación en los motores tiene la función de impedir el rozamiento y disminuir el trabajo perdido por el mismo. Interponiendo entre los dos cuerpos una delgada película de fluido lubricante. Así como un medio enfriante (fig.1.7).

A continuación se explican algunos de los métodos principales para llevar a cabo la lubricación en los motores.

- Por borboteo: La cabeza de la biela recoge aceite con una cucharilla en una cazoleta del cárter donde el lubricante se mantiene a nivel adecuado. El aceite recogido por la cucharilla penetra por inercia en cada giro del cigüeñal, en el cojinete de la biela, mientras una parte del que había en la cazoleta es lanzado hacia el interior de la bancada y del cilindro.
- A presión: El aceite es puesto en circulación por una o más bombas y es enviado a los puntos a lubricar mediante canales o tuberías. El que ha pasado por las partes lubricadas se recoge en el cárter y es puesto nuevamente en circulación por la bomba.

<sup>10</sup> <http://raulalegre.blogspot.mx/2009/01/trabajos-de-curso-de-cmputo-prof-ral.html>, 20/Oct/2014.

- Por dosificación: El aceite contenido en un depósito es enviado al motor por una bomba dosificadora. El aceite puede lubricar todo el motor, como es el caso de algunos motores de motocicletas cuyos cojinetes de biela y de bancada son de rodamientos cilíndricos o esféricos, o sólo algunas partes (por ejemplo, los cilindros de los motores diesel), y está destinado a ser todo consumido.
- Por mezcla de aceite y combustible: El sistema se aplica solo en motores de dos tiempos a carburación con compresión del fluido en la cámara del cigüeñal, en este caso el aire carburado entra en contacto con los órganos del sistema biela-manivela y los puede lubricar.<sup>11</sup>

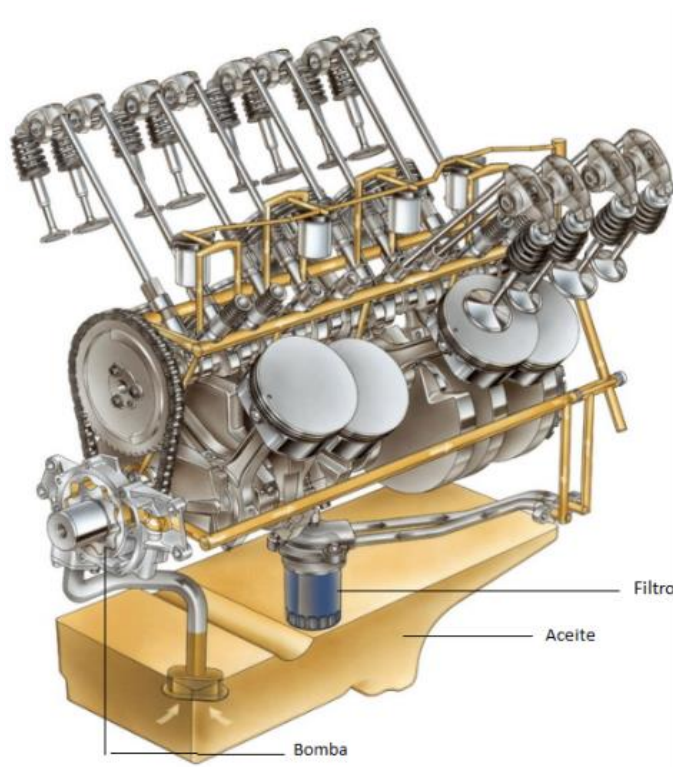


Figura 1.7 Sistema de lubricación

<sup>11</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag 149, 160-161.

## Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración es el conjunto de elementos, que tiene como misión eliminar el exceso de calor acumulado en el motor, debido a las altas temperaturas, que alcanza con las explosiones y llevarlo a través del medio como puede ser agua o aire al exterior.

La temperatura que se alcanza en los cilindros, es muy elevada, por lo que es necesario refrigerarlos. La temperatura normal de funcionamiento oscila entre los 75° y los 90° del agua de refrigeración cuando está en operación.

Por refrigeración entendemos que es el acto de retiro de calor de un cuerpo, hasta dejarla en un valor adecuado o constante.

Los sistemas actualmente empleados para la refrigeración de los motores, tanto de gasolina como Diesel, son los siguientes:

- Refrigeración por aire
- Refrigeración por agua o mixtos (aire-agua)<sup>12</sup>

### Refrigeración por aire

Este sistema consiste en el retiro de calor del motor a la atmósfera a través del aire que lo rodea. Para mejorar la conductibilidad térmica o la manera en que el motor transmite el calor a la atmósfera, estos motores se fabrican de aleación ligera y disponen sobre la carcasa exterior de unas aletas que permiten aumentar la superficie radiante de calor. La longitud de éstas aletas es proporcional a la temperatura alcanzada en las diferentes zonas del cilindro, siendo, por tanto, de mayor longitud las que están más próximas a la cámara de combustión.

La refrigeración por aire a su vez puede ser:

- Directa (sin ventiladores)
- Forzada (con ventiladores)<sup>13</sup>

<sup>12</sup> <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> 09/03/15.

<sup>13</sup> <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> 09/03/15.

## Refrigeración por agua

Este sistema consiste en un circuito de agua, en contacto directo con las paredes de las camisas y cámaras de combustión del motor, que absorbe el calor generado y lo transporta a un depósito refrigerante donde el líquido se enfría y vuelve al circuito para cumplir nuevamente su misión. El circuito se establece desde el interior del bloque y culata, para lo cual estas piezas se fabrican huecas, de forma que el líquido refrigerante circunde las camisas y cámaras de combustión que circule por ellas.

El circuito de refrigeración de los motores enfriados por agua se muestra en la figura 1.8 y está formado principalmente por los siguientes elementos:

- Radiador
- Bomba de agua
- Válvula reguladora de temperatura (termostato)
- Ventilador<sup>14</sup>

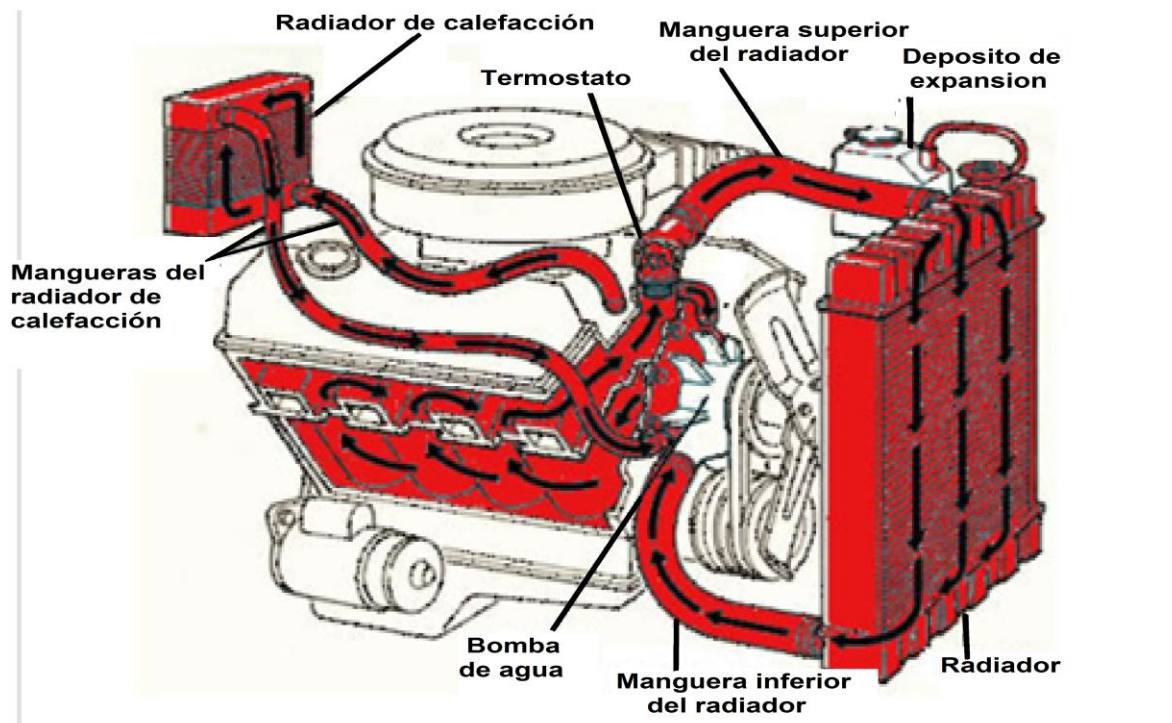


Figura 1. 8 Esquema de refrigeración de un motor.

<sup>14</sup><http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> 09/03/15.

## Líquidos y anticongelantes

El anticongelante es un compuesto de glicerina y alcohol, el producto más utilizado es "etilenglicol". El punto de congelación se determina según el porcentaje de este elemento.

El anticongelante es un tipo de refrigerante del motor que se almacena en el radiador y enfría el tanque hasta que el motor alcanza una temperatura suficientemente alta para abrir el termostato como se observa en la figura 1.9. Una vez que el termostato se abre, éste permite que el anticongelante pase a través del motor y lo mantenga fresco. En una atmósfera de presión, el agua pura hierve a 100 °C, pero una mezcla 50/50 de anticongelante y agua hierve a 106,11 °C. En el otro lado del espectro, el anticongelante también evita que el sistema de enfriamiento de tu motor se congele en los meses de invierno. Un anticongelante también posee propiedades resistentes a la corrosión. Contiene sustancias químicas que inhiben la formación de incrustaciones en los componentes del motor, radiador y de los acompañamientos como las mangueras y los tubos y lubrica partes en movimiento<sup>15</sup>

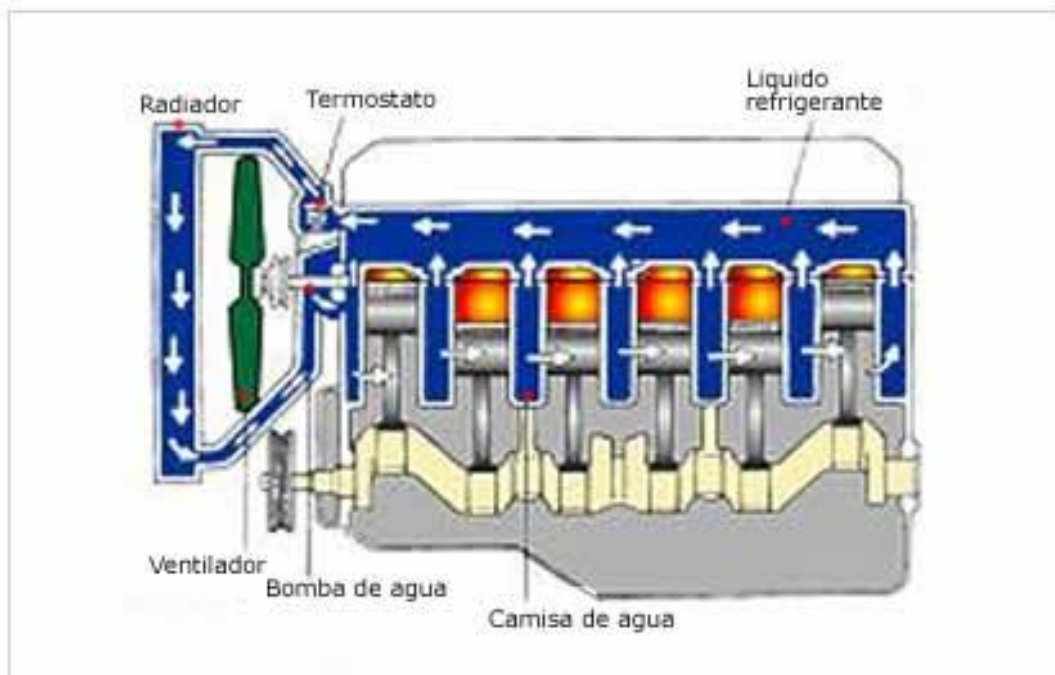


Figura 1. 9 Esquema interno del motor y su refrigeración.

<sup>15</sup> <http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> 09/03/15.

### Motores de encendido por chispa (ECh) y por compresión (EC)

La figura 1.10 representa, en forma muy esquemática, la sección transversal de un motor endotérmico alternativo de 4 tiempos de encendido por chispa (ECh).

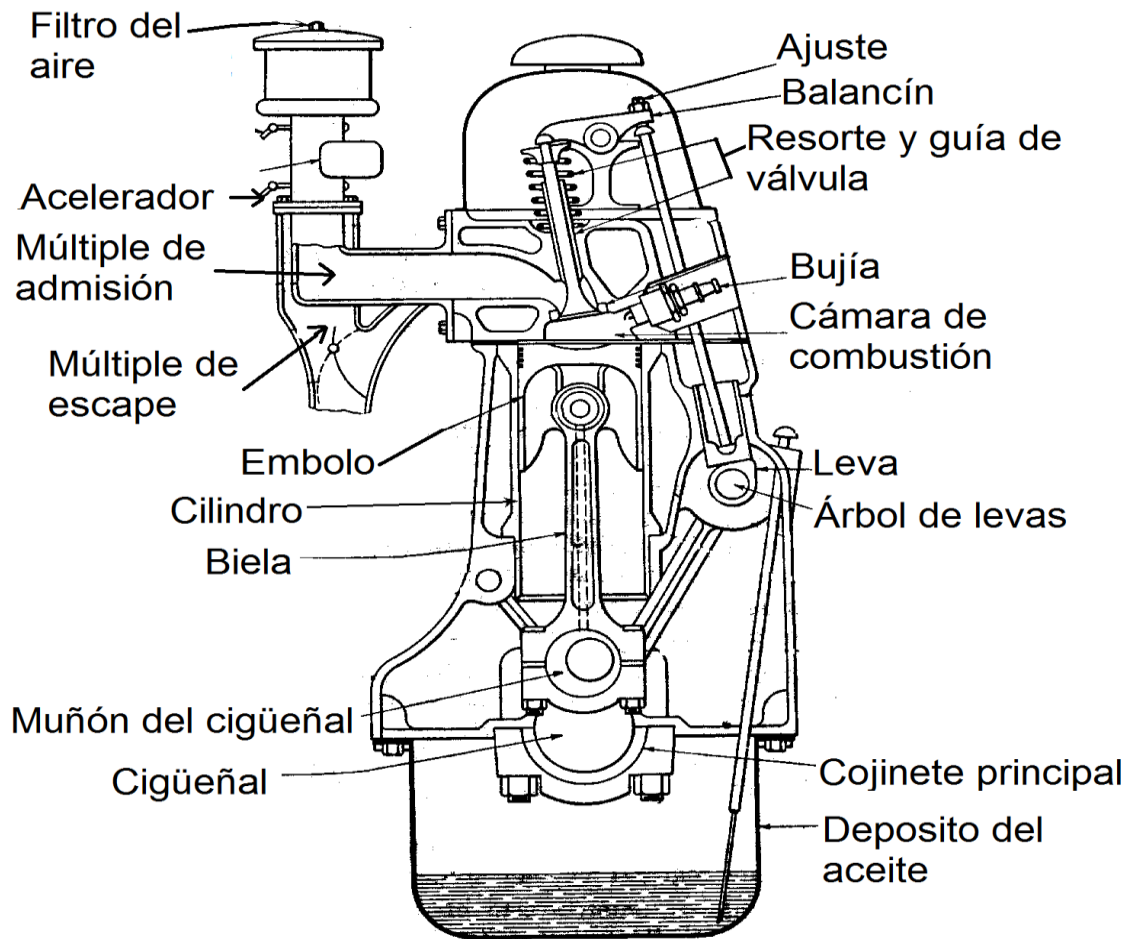


Figura 1.10 Esquema de motor alternativo (ECh)

Como las partes principales son comunes entre los motores de encendido por chispa y encendido por compresión, el esquema sirve para indicar la nomenclatura para ambos.

El cilindro es el recipiente en el cual el pistón se mueve con movimiento rectilíneo alternativo.



El cilindro forma parte del bloque de cilindros, o monoblock como se le llamaba en el pasado. Este a su vez forma parte de la base o bancada, que se considera como la estructura fundamental del motor, en muchos casos el bloque de cilindros está separado de la base a la cual está unido mediante pernos.

La parte superior del cilindro está cerrada por la culata o la cabeza. El volumen encerrado en el cilindro entre la culata y el pistón representa la cámara de combustión, en la cual se quema la mezcla de combustible y aire es decir, el fluido de trabajo.

En el motor ECh esta mezcla se forma en el carburador o en el colector o en el múltiple de admisión y entra en el cilindro a través de la válvula de admisión. La válvula de mariposa del carburador sirve para regular la cantidad de mezcla que entra. En el EC el combustible es inyectado en el cilindro mediante un inyector, la cantidad de combustible se regula con la bomba de inyección; no hay regulación de la cantidad de aire que entrada a través del conducto y de la válvula de admisión. Como la combustión es consecuencia de la alta temperatura del aire fuertemente comprimido en el cilindro, no es necesaria la bujía de encendido.

En los motores de ECh el comienzo de la combustión se produce al saltar la chispa entre los electrodos de la bujía; en los motores EC, con el encendido espontaneo del combustible atomizado por el inyector. El pistón o el embolo provisto de aros o segmentos (anillos) que impiden a los gases en expansión escaparse entre el pistón y el cilindro, transmite el empuje de estos gases a través del perno o pasador, a la biela y de ahí a la manivela o cigüeñal o eje motor. La biela y la manivela transforman el movimiento lineal alternativo del pistón en movimiento rotatorio del árbol motor o cigüeñal, que gira soportado por cojinetes de bancada aplicados a la base.

Los productos de la combustión se descargan al exterior por medio de la válvula de escape y el tubo de escape (múltiple y conducto).

Las válvulas de admisión y escape son accionadas por órganos llamados de distribución. El árbol de distribución o eje (árbol) de levas es conducido por el cigüeñal mediante una cadena o engranaje. Las levas o excéntricas, solidarias al eje, actúan sobre una serie de piezas: los empujadores, los vástagos y los balancines, que transmiten el movimiento a las válvulas según la ley definida por

la forma de las levas correspondiente. Las válvulas se mantienen en su asiento mediante resortes.<sup>16</sup>

### Ciclo operativo del motor de 4 tiempos

El ciclo operativo es la sucesión de operaciones, o fases, que el fluido activo cumple en el cilindro y repite periódicamente.

Los motores alternativos son de cuatro tiempos cuando el ciclo se cumple con 4 carreras de pistón. Esto significa que los motores de 4 tiempos completan un ciclo cada dos revoluciones del cigüeñal. Las 4 fases del ciclo de 4 tiempos son: admisión de la carga al cilindro, compresión de la carga, combustión y expansión y expulsión o escape de los productos de la combustión.

Cada fase corresponde aproximadamente a una carrera de pistón.

- **Admisión.-** El pistón en la carrera hacia el punto muerto inferior (fig. 1.11) crea una aspiración del fluido hacia el cilindro. En la cámara de combustión se abre en el momento oportuno la válvula de aspiración para permitir la entrada del aire o de la mezcla gaseosa de combustible. La válvula comienza a abrirse antes del inicio de la carrera y se cierra después de que la carrera se ha completado.
- **Compresión.-** Cerrada la válvula de admisión, durante la carrera de regreso del pistón la carga es comprimida en la cámara de combustión hasta un valor máximo que alcanza el punto muerto superior. En ese momento el volumen de la carga se ha reducido a una fracción del volumen que tenía al comienzo de la carrera; esta fracción es el valor inverso de la relación volumétrica de presión.
- **Combustión y expansión.-** Poco antes del fin de la carrera de compresión se produce el encendido de la mezcla por una chispa eléctrica, o bien el encendido espontáneo del combustible inyectado en la cámara de combustión, en el caso de encendido por compresión, (fig. 1.12), con el consiguiente repentino aumento de temperatura y de presión causado por el calor de la combustión. Antes que la carrera de trabajo se haya completado comienza a abrirse la válvula de escape y los gases quemados, que aún están a una cierta presión, comienzan a salir del cilindro.

<sup>16</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag. 3-5.



- **Escape.**- Durante su carrera de regreso hacia el punto muerto superior el pistón expulsa los gases quemados a través de la válvula de escape. Al final de la carrera, o poco después, se vuelve a cerrar la válvula de escape; mientras tanto se ha abierto la de admisión y comienza un nuevo ciclo para continuar repitiéndose regularmente.<sup>17</sup>

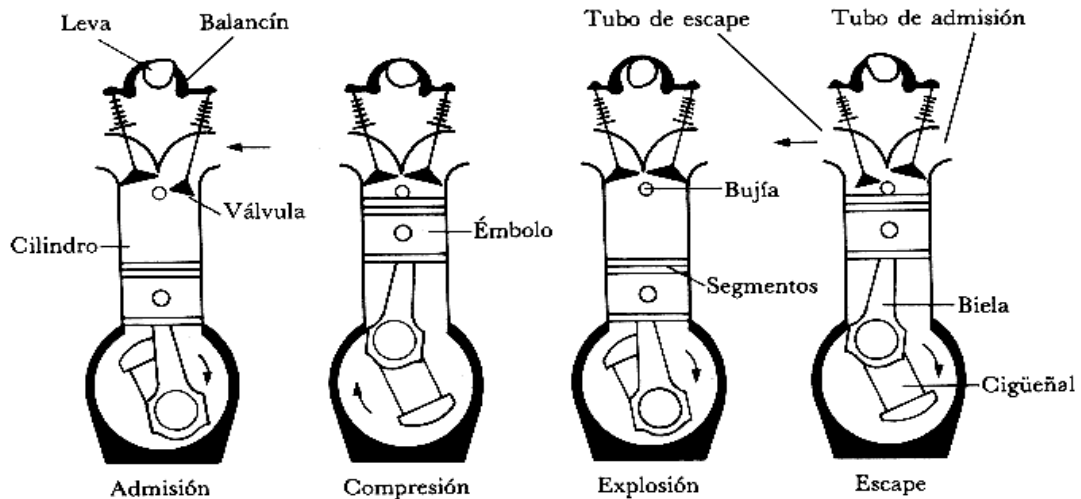


Figura 1.11 Los 4 tiempos de motor (ECh)

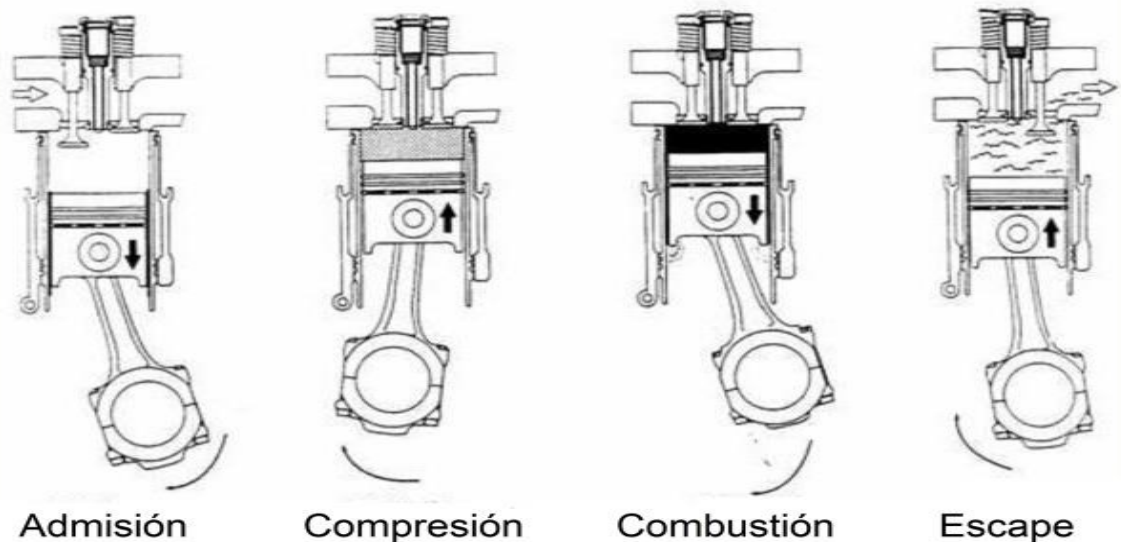


Figura 1.12 Los 4 tiempos de motor (EC)

<sup>17</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag. 6-8.

### Ciclo operativo de 2 tiempos.

La introducción del fluido de trabajo en el cilindro tiene lugar durante una fracción de la carrera de trabajo. Para que esto se produzca es necesario que el fluido se comprima previamente, de modo que pueda entrar en el cilindro mientras la descarga de los gases quemados se efectúa por su propia presión. (fig.1.13)

- El primer tiempo corresponde a la carrera de trabajo. Esta comienza con el encendido y la combustión y prosigue con la expansión hasta cuando el pistón abra la lumbrera de escape.
- El segundo tiempo corresponde a la carrera de retorno del pistón al punto muerto superior: durante el primer tramo de la carrera, es decir, hasta cuando cierra el paso de la lumbrera de admisión, se completa la fase de barrido y admisión; durante el segundo se realiza la fase de compresión.<sup>18</sup>

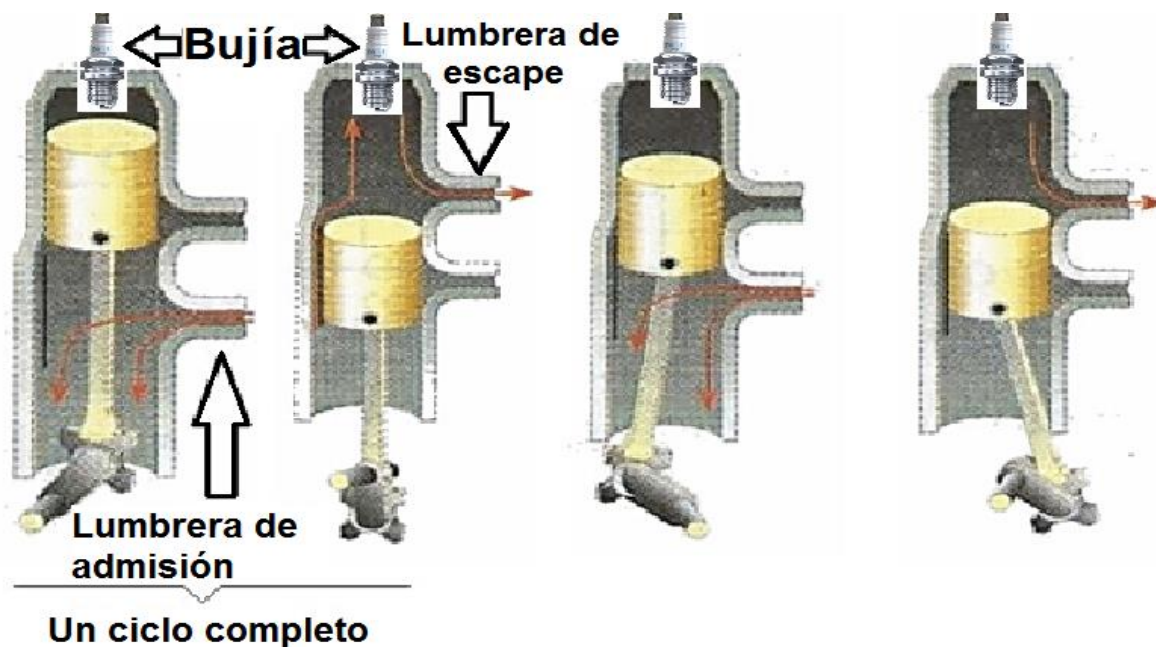


Figura 1.13 Motor de 2 tiempos (Ech)

<sup>18</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag. 8-9.

#### 1.4 Aplicaciones de los motores endotérmicos

Las diferentes variantes de los dos ciclos tanto en diésel como en gasolina, tienen cada uno su ámbito de aplicación.

- 2T gasolina: tuvo gran aplicación en las motocicletas, motores de ultraligeros (ULM) y motores marinos fuera-borda hasta una cierta cilindrada, habiendo perdido mucho terreno en este campo por las normas anticontaminación. Además de en las cilindradas mínimas de ciclomotores y scooters (50cc) sólo motores muy pequeños como motosierras y pequeños grupos electrógenos siguen llevándolo.
- 4T. Ha facilitado la extensión de la automoción y del transporte por carretera, Automóvil, motocicleta, transporte y turismo. También de algunas otras utilidades como son: generador eléctrico, bombas, motosierras, podadoras, etc.
- 2T Diésel: domina en las aplicaciones navales de gran potencia, hasta 100000 CV hoy día, tracción ferroviaria. En su día se usó en aviación con cierto éxito.
- 4T Diésel: domina en el transporte terrestre, automóviles, aplicaciones navales hasta una cierta potencia. Empieza a aparecer en la aviación deportiva.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> <https://prezi.com/tggwctzimw0/motores-de-combustion-interna/>, 06/Nov/14



## Capítulo 2

### Pruebas realizadas a motores de combustión interna y parámetros requeridos.

Existen diversas pruebas a las cuales pueden ser sometidos los motores endotérmicos, estas pruebas se dividen en dos categorías, las cuales son: pruebas dinámicas, pruebas estáticas. A su vez se tiene que tomar en cuenta algunos parámetros para llevarlas a cabo.

#### 2.1 Tipos de pruebas

##### ➤ Pruebas Estáticas

Estas pruebas son realizadas para obtener valores de interés y realizar cálculos mediante bancos de pruebas como se muestra en la figura 2.1.

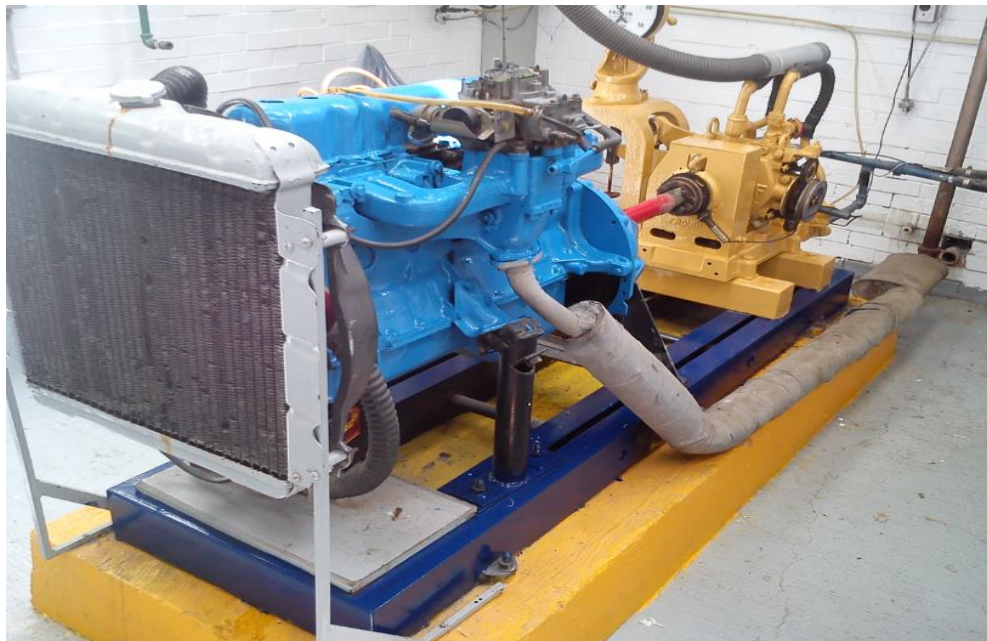


Figura 2.1 Banco de prueba

Entre las más utilizadas están las siguientes.

**Frenos de fricción.** El freno de fricción mecánico por zapata y tambor fue el primero utilizado, llamado "Freno de Prony", si bien debido a su inestabilidad y dificultad de regulación y refrigeración, hoy es sólo un antecedente histórico.

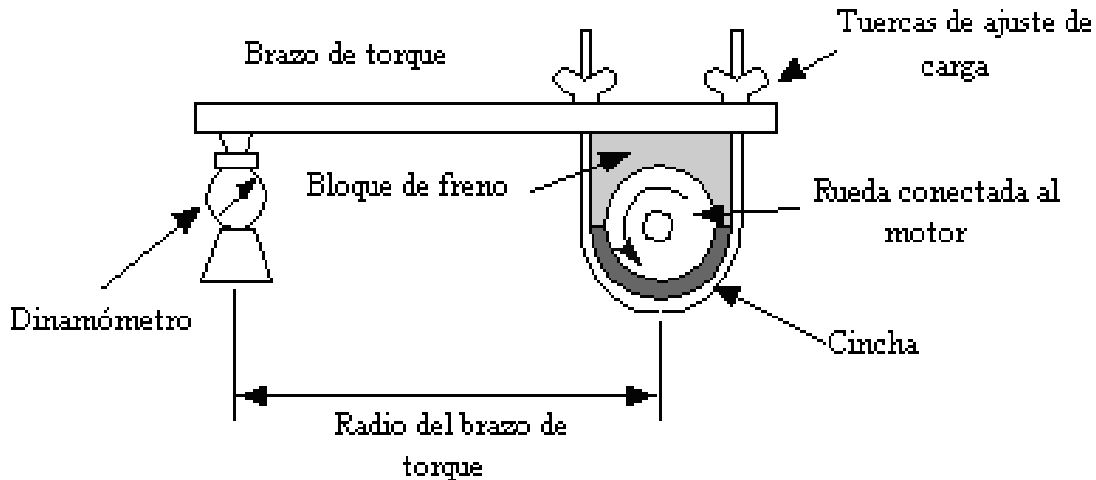


Figura 2.2 Freno prony.

**Frenos hidráulicos.** El freno hidráulico es similar a un convertidor hidráulico de par, en el que se impide girar al eje de salida. Se compone de un rotor y una carcasa o estator llena de agua que sirve tanto de elemento frenante como refrigerante. La potencia del motor absorbida por el freno se transforma en calor, necesiéndose una alimentación continua de agua fría. Para una temperatura de entrada al freno de 20 °C y una salida de 60 °C se necesita por kW. Frenado, un caudal de  $20 \frac{L}{min}$  aproximadamente. Para evitar el deterioro del freno la temperatura del agua a la salida no debe sobrepasar en general los 60°C.

De los diversos frenos dinamométricos hidráulicos que se han desarrollado se explicarán dos tipos constructivos:

- de rotor interior
- de rotor exterior

Así como dos tipos de regulación:

- Por compuertas
- Por nivel de líquido

Para los primeros durante el funcionamiento, el agua de los alvéolos del rotor es expulsada a gran velocidad por la acción de la fuerza centrífuga introduciéndose en los alvéolos del estator por el perímetro externo. Estos últimos poseen una forma tal que hace que el agua retorne a los del rotor a menor velocidad por la parte más próxima al eje de rotación.

De esta forma la trayectoria del agua es helicoidal, produciendo el torbellino de este movimiento un efecto de frenado entre el rotor y el estator, como consecuencia del rozamiento entre las superficies del freno y el agua existente en su interior. La resistencia que el agua opone al giro del rotor reacciona sobre el estator, produciendo un par igual al par motor. Determinados modelos de los frenos hidráulicos Froude, tienen las partes móviles dispuestas exteriormente al estator, el cual está montado en forma basculante y unido al sistema de medida de fuerza. Esta disposición permite añadir un freno de fricción sobre la cara exterior del rotor para aumentar el par de frenado a bajo régimen.

La regulación de la carga resistente se puede efectuar interponiendo unas compuertas en el espacio entre los alvéolos del estator y del rotor. Accionando un volante exterior al estator se aproximan o alejan del eje de rotación las dos compuertas haciendo inactivo a los efectos de frenado un número menor o mayor de cavidades. En la regulación por nivel de líquido, al girar el rotor el agua que hay dentro del freno sufre la acción de las fuerzas centrífugas formando un anillo, cuyo espesor se puede regular estrangulando la salida o la entrada de agua. El par de frenado de los frenos dinamométricos hidráulicos es aproximadamente proporcional al cuadrado del número de revoluciones (curva característica de respuesta aproximadamente cuadrática), lo que les hace muy estables.

Las ventajas de este tipo de freno son:

- Bajo costo para potencias absorbidas importantes.
- Gran duración.
- Reparación rápida y poco costosa.

Como inconvenientes podemos citar:

- Poca versatilidad de las curvas de par resistente.
- Par de frenado fuertemente dependiente de la presión de la red hidráulica, lo que puede producir inestabilidad.

Estas consideraciones hacen que el freno hidráulico sea el más utilizado en producción y en ensayos de resistencia.

**Frenos eléctricos.** Para determinar la potencia efectiva se pueden utilizar generadores de corriente eléctrica. Así por ejemplo si se acopla un motor a una dinamo conectada a una resistencia eléctrica, la potencia del motor se utilizará en accionar la dinamo. Esta potencia se puede determinar midiendo con un voltmetro y un ampermetro la potencia eléctrica suministrada por la dinamo. En este método

debe tenerse en cuenta, que existirán pérdidas por rozamiento, por efecto del aire y pérdidas eléctricas dependientes de la carga en el generador por lo que la medida no es muy precisa. Esto hace que sea mucho más común medir la potencia del motor indirectamente a través del par motor.

**Frenos de corriente continua.** Igual que en los frenos hidráulicos, el estator posee un montaje basculante y está unido a un sistema de medida de fuerza. El par motor se transmite del rotor (inducido) al estator (inductor en anillo) por medio del campo magnético. La regulación de la carga, cuando las variaciones no son demasiado grandes, puede ser hecha variando la excitación de la dínamo con un reóstato. Haciendo crecer la reacción electromagnética entre el rotor y el estator, efecto que trasmite el par del rotor al estator, aumenta la carga resistente y viceversa. La corriente producida puede ser disipada en forma de calor en unas resistencias eléctricas. La regulación de la excitación de las dos máquinas de corriente continua puede efectuarse por medio de reóstatos: uno varía la excitación del motor y por tanto la tensión de los extremos del inducido de la dínamo-freno, el otro varía la excitación de la dínamo-freno. Este tipo de dínamo-freno presenta la gran ventaja de poder ser usado también como motor eléctrico y puede servir no sólo como arrancador del motor, sino también como medio para arrastrarlo, una vez suprimido el encendido y medir directamente la potencia necesaria para vencer los rozamientos. En este caso el alternador actúa como asíncrono, accionando un generador de c.c., que alimenta a la dínamo-freno, que ahora actúa como motor. Las pruebas principales son las que sirven para obtener los valores relativos al par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, el consumo específico de combustible, los diferentes rendimientos así como la composición de los gases de escape.

Para ensayar un motor es necesario instalarlo en un banco de pruebas o de ensayos. A continuación se presentan algunas recomendaciones para un buen montaje:

- Una cimentación que absorba las vibraciones que se producen debido a la existencia en el motor de fuerzas de inercia no equilibradas y de los correspondientes momentos resultantes.
- Bancada, cuya misión es soportar el motor.
- Soportes para montar y fijar el motor en la bancada, así como regular la altura y alinear el motor con el freno.



- Freno dinamométrico que absorba la potencia desarrollada por el motor, ofreciendo una resistencia al giro de éste, y que esté provisto de un dispositivo para medir el par motor.
- Transmisión que permita la conexión freno-motor con una cierta elasticidad y capacidad de absorber desalineaciones.
- Sistema de alimentación de combustible al motor con instrumentos de medición de consumo.
- Sistema de refrigeración del motor:  
Si los motores son refrigerados por agua, normalmente se mantiene la bomba de agua del propio motor. Esta impulsa el agua a través del motor hacia un intercambiador de calor (agua/agua o aire/aire), en general con regulación termostática por medio de válvulas motorizadas. En instalaciones más económicas se suele recurrir a un depósito de mezcla en donde se añade una pequeña cantidad de agua fría a la caliente, que proviene del motor.  
Si los motores son refrigerados por aire se suele utilizar un ventilador dirigida hacia las aletas del motor.
- Sistema de refrigeración de aceite. En ocasiones también se refrigera el aceite del motor, ya que al no existir una corriente de aire al cárter, éste tiende a sobrecalentarse. El sistema consta de un intercambiador aceite/agua y en ocasiones una bomba auxiliar.
- Red de agua. Los frenos dinamométricos transforman toda la energía mecánica que reciben del motor en calor. Este calor es eliminado por el sistema de refrigeración del freno que suele ser mediante un abastecimiento continuo de agua. En los frenos hidráulicos se ha de mantener la presión del agua dentro de unos límites, ya que por ser el agua el elemento frenante, cualquier variación de presión provocaría una variación en el par resistente y por tanto una variación en la medida.  
El agua se calienta a su paso por el freno y en algunos casos se suele emplear un circuito cerrado, enfriándose el agua en una torre de refrigeración.
- Sistema de evacuación de los gases de escape. Los gases de escape son enviados tras pasar por un silenciador a la atmósfera.
- Sistema de ventilación de la sala. Debe evitar el sobrecalentamiento del local por la radiación de calor del motor. Se efectúa mediante ventiladores axiales o centrífugos de impulsión y extracción.

Cuando el banco se instala en una habitación o cámara cerrada y aislada se habla de una celda o cabina de ensayo de motores. En este caso existe un pupitre de

instrumentos en el exterior de la celda con los órganos de puesta en marcha y de gobierno del motor y freno, así como los instrumentos de control y registro.

➤ **Pruebas Dinámicas**

Las pruebas dinámicas son aquellas en las cuales se simulan condiciones reales de funcionamiento, ya sea con el vehículo en movimiento o rodillos de prueba.

**Dinamómetros de rodillos.** En este método se simulan condiciones reales de funcionamiento y tienen las siguientes características durante su aplicación:

- Pruebas bajo carga
- Inclinación y pendiente
- Resistencia aerodinámica
- Resistencia a la rodadura.

En la figura 2.3 se puede observar un dinamómetro de rodillos, del cual se mencionaron anteriormente sus ventajas, pero su costo es muy alto.<sup>20</sup>



Figura 2.3 Rodillos para realizar pruebas dinámicas.

<sup>20</sup><http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5844/2/114254.pdf>

## 2.2 Diagrama indicado y parámetros.

El conocimiento del diagrama indicado es importante, ya que midiendo su área se obtiene la presión media efectiva (*p. m. e.*).

Conociendo la *p. m. e.* se obtiene, considerando la cilindrada total del motor y el número de carreras útiles en la unidad de tiempo, la potencia indica, es decir la potencia desarrollada en los cilindros. En la práctica la potencia indicada se obtiene agregando a la potencia media al freno la potencia absorbida por los rozamientos, esta última es la que se mide haciendo girar el motor sin encendido.

Los aparatos indicadores se usan para estudios de laboratorios y para controlar la regularidad del ciclo. Puesto que la forma del ciclo depende del modo en que se desarrollan los procesos que se verifican en el motor, las irregularidades de funcionamiento pueden ser estudiadas examinando el ciclo indicado.

Muchos de los rozamientos que haremos son válidos tanto en motores de ciclo Otto como para los de ciclo Diesel, puesto que la forma de sus diagramas son similares, difiriendo solo los valores de las presiones y de las temperaturas máximas. La figura 2.4 ilustra dos diagramas indicados de un motor de ECH; uno a plena abertura, es decir, con la mariposa del carburador completamente abierta, y el otro a abertura parcial, es decir con la mariposa parcialmente abierta.

Como sabemos, el área en blanco es positiva y el área achurada es negativa; el área achurada representa en efecto el trabajo perdido por el bombeo durante las fases de escape y admisión.

Cuando la mariposa está totalmente abierta la resistencia al paso del aire es mínima y entra la máxima cantidad de mezcla. El área positiva, que representa el trabajo útil, es por lo tanto máxima. Cuando en cambio la mariposa está parcialmente cerrada, entra una menor cantidad de mezcla, por lo tanto el trabajo realizado por el fluido es menor y el área positiva es más pequeña.

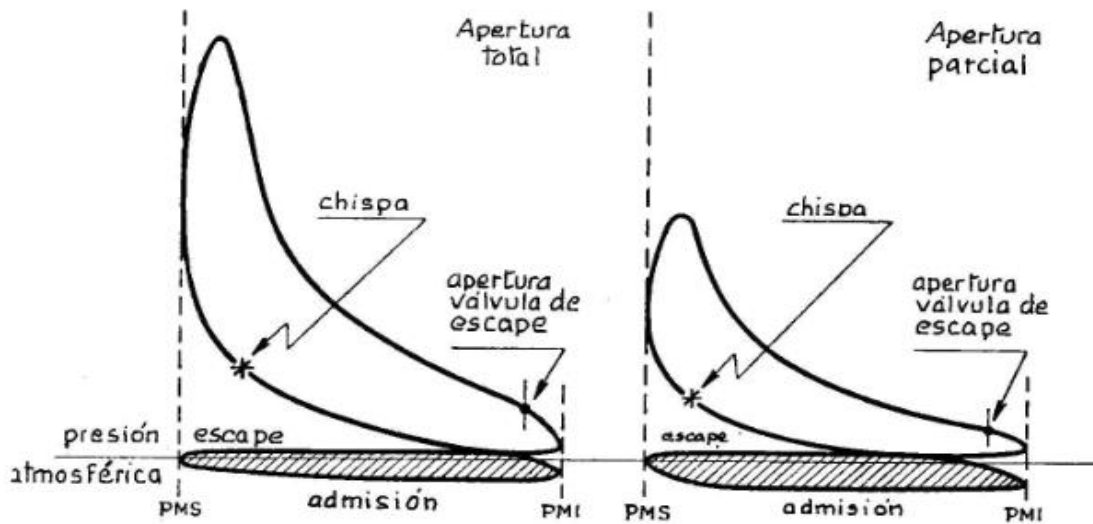


Figura 2.4 Diagrama indicado.

Sobre el área achurada el efecto de la estrangulación mediante la mariposa es totalmente opuesto. Cuando la mariposa está abierta la resistencia al paso del aire es mínima y, si el conducto está bien diseñado, la presión en el cilindro es muy próxima a la atmosférica. En cambio cuando la mariposa está parcialmente cerrada, la resistencia al paso de la mezcla es considerable; ésta no entra con la misma rapidez con la que está aumentando el volumen en el cilindro por el movimiento del pistón, por lo que se crea una depresión. En el primer caso el trabajo perdido por bombeo es mínimo y el área negativa es mayor.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos, pag 68-71.

### 2.3 Parámetros de los motores de combustión interna.

#### Cilindrada (V).

La cilindrada unitaria es el volumen geométrico del cilindro que está delimitado por el pistón en *p.m.i.* y *p.m.s.* lo cual significa que si éste volumen unitario se multiplica por el número de pistones, obtendremos la cilindrada motor.

**Ecuación del volumen unitario:**<sup>22</sup>

Tabla 2. 1 Ecuación de cilindrada (V).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$V = \frac{\pi * D^2 * C}{4}$	V	cm <sup>3</sup>	Volumen total
	D	cm	Diámetro del cilindro
	C	cm	Carrera

#### Relación de compresión (r<sub>c</sub>).

Es la relación entre el volumen del cilindro y el de la cámara de combustión. Volumen de la cámara de combustión es el volumen que se encuentra en el cilindro cuando el pistón asciende hasta el *p.m.s.* Ésta relación viene dada por la siguiente ecuación:

Tabla 2. 2 Ecuación Relación de compresión (r<sub>c</sub>).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$r_c = \frac{V + v}{v}$	r <sub>c</sub>	-	Relación de compresión
	V	cm <sup>3</sup>	Cilindrada
	v	cm <sup>3</sup>	Volumen de la cámara de combustión

Cuanto mayor sea la relación de compresión, se incrementa la potencia y el rendimiento mejora. Esto es debido a que al aumentar la presión en la cámara de combustión el combustible se mezcla mejor con el aire, y al aumentar la presión la expansión de los gases, aportan un impulso mayor al pistón. Al expandirse más bruscamente hay más energía que se transforma en energía mecánica y menos se tiene que disipar, esto indica que se mejora el rendimiento porque hay menos energía que se transforma en calor.

Un problema del aumento de la relación de compresión, es que la cámara de combustión es más pequeña. Con ello las carbonillas, que se pueden generar por

<sup>22</sup> David Asensio Bueno CAPÍTULO 1: MOTOR TÉRMICO PDF 20/11/2014

mala combustione se pueden acumular más, reduciendo la cámara de manera que la relación de compresión aumente de tal manera que se pueda llegar a la rotura de algún órgano del motor.

Los motores diésel tienen una elevada compresión entre 18:1 y 25:1 frente a los 7:1 y 10:1 de los motores de explosión, lo que supone una mayor eficiencia térmica.<sup>23</sup>

## 2.4 Cálculos para el ciclo Otto ideal.

### Presión de compresión ( $P_2$ ).

En el ciclo ideal se considera que la compresión es adiabática y el exponente “k” es igual a 1.4; pero cuando se comprime la carga en cilindro del motor, se pierde calor en las paredes del mismo y también una carga por fuga. Entonces la compresión no es estrictamente adiabática sino politrópica. La observación de diagramas reales de indicador ha demostrado que “k” tiene un valor de 1.3.

La presión de compresión se realiza de la siguiente manera:

Tabla 2. 3 Presión de compresión ( $P_2$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_2 = P_1(r_c)^k$	$P_2$	N/m <sup>2</sup>	Presión al final de la compresión
	$P_1$	N/m <sup>2</sup>	Presión inicial
	$r_c$	---	Relación de compresión
	k	---	Exponente poli trópico igual a 1.3

### Trabajo de compresión ( $W_c$ ).

Para comprimir la mezcla se necesita una cantidad de trabajo, el cual se obtiene de la siguiente manera:

<sup>23</sup> David Asensio Bueno CAPÍTULO 1:MOTOR TÉRMICO PDF 20/11/2014

Tabla 2. 4 Trabajo de compresión ( $W_c$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$W_c = 3.333 \cdot D \cdot P_1 \cdot \left( \frac{r_c^{1.3} - r_c}{r_c - 1} \right)$	$W_c$	N/m	Trabajo de compresión
	D	m	Desplazamiento unitario
	L	m	Longitud de la carrera
	$P_1$	N/m <sup>2</sup>	Presión inicial
	$r_c$	---	Relación de compresión

### Trabajo de expansión ( $W_e$ ).

Si al terminar el tiempo de compresión se permite que la mezcla expanda, el trabajo realizado por la expansión, será el mismo que el efectuado al comprimir la mezcla. Sin embargo, al terminar el tiempo de compresión, la mezcla se inflama, por lo que la presión se multiplica varias veces. Llamado “a” al multiplicador de presión. El trabajo de obtendrá de ésta forma:

Tabla 2. 5 Ecuación Trabajo de expansión ( $W_e$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$W_e = 3.333 \cdot D \cdot a \cdot P_1 \cdot \left( \frac{r_c^{1.3} - r_c}{r_c - 1} \right)$	$W_e$	N/m	Trabajo de expansión
	$P_1$	N/m <sup>2</sup>	Presión inicial
	D	m	Desplazamiento unitario
	a	---	Multiplicador de Presión
	$r_c$	---	Relación de compresión

### Trabajo útil ( $W_u$ ).

La diferencia entre el trabajo de expansión y el trabajo de compresión es el trabajo útil y se calcula de la siguiente manera:

Tabla 2. 6 Ecuación Trabajo útil ( $W_u$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$W_u = 3.333 \cdot D \cdot (a - 1) \cdot P_1 \cdot \left( \frac{r_c^{1.3} - r_c}{r_c - 1} \right)$	$W_u$	N/m	Trabajo útil
	$P_1$	N/m <sup>2</sup>	Presión inicial
	D	m	Desplazamiento unitario
	a	---	Multiplicador de Presión
	$r_c$	---	Relación de compresión

### Presión media indicada ( $p. m. i.$ ).

Para obtener la presión media indicada se divide el trabajo útil entre el desplazamiento unitario en metros.

Tabla 2. 7 Ecuación Presión media indicada ( $p. m. i.$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$p. m. i = 3.333 \cdot (a - 1) \cdot f \cdot P_1 \cdot \left( \frac{r_c^{1.3} - r_c}{r_c - 1} \right)$	$W_u$	N/m	Trabajo útil
	$P_1$	N/m <sup>2</sup>	Presión inicial
	D	m	Desplazamiento unitario
	a	---	Multiplicador de Presión
	f	---	Factor de diagrama igual a 0.9
	$r_c$	---	Relación de compresión

### Potencia indicada ( $P_i$ ).

La potencia indicada  $P_i$  es el producto del trabajo desarrollado durante una carrera útil, por el número de ellas realizadas en la unidad de tiempo, la ecuación de la potencia indicada es:



Tabla 2. 8 Ecuación Potencia indicada ( $P_i$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_i = 3.33 \cdot D \cdot P_1 \cdot f \cdot (a - 1) \left( \frac{r_c^{1.3} - r_c}{r_c - 1} \right) \left( \frac{N_e}{60} \right)$	$P_i$	W	Potencia indicada
	D	m	Desplazamiento unitario
	$P_1$	N/m <sup>2</sup>	Presión inicial
	$f$	-	Factor de diagrama igual a 0.9
	$a$	---	Multiplicador de Presión
	$r_c$	---	Relación de compresión
	$N_e$	---	Numero de carreras útiles por minuto ( $N_e = \frac{R.P.M.}{2}$ ).

### Presión media efectiva ( $p. m. e.$ ).

Es la presión media indicada multiplicada por el rendimiento mecánico

Tabla 2. 9 Ecuación Presión media efectiva ( $p. m. e.$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$p. m. e. = \eta_m \cdot p. m. i.$	$p. m. e.$	W	Presión media efectiva
	$\eta_m$	R.P.M.	Rendimiento mecánico
	p.m.i.	W	Presión media indicada

### Potencia efectiva ( $P_e$ ).

Se obtiene multiplicando la potencia indicada y el rendimiento mecánico.

Tabla 2. 10 Ecuación Potencia efectiva ( $P_e$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_e = P_i \cdot \eta_m$	$P_e$	W	Potencia efectiva
	$P_i$	W	Potencia indicada
	$\eta_m$	---	Rendimiento mecánico

## 2.5 Cálculos reales de los motores de Combustión interna.

La potencia es un factor que depende mucho del tipo de motor, porque depende de la cilindrada y de la relación de compresión, y también del número de cilindros, la carrera y el régimen de giro del motor.

Hay tres potencias fundamentales en un motor: potencia indicada, potencia efectiva y potencia absorbida.

### Potencia indicada ( $P_i$ ).

Es la potencia que realmente se desarrolla en el interior del cilindro por la combustión. Esta se puede calcular con la presión media indicada, que es la presión constante con la que es necesaria para impulsar el pistón durante su carrera. Esta presión varía con la velocidad y la relación de compresión del motor. Entonces la ecuación la potencia indicada  $P_i$  sería:

Tabla 2. 11 Ecuación Potencia indicada ( $P_i$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_i = p. m. i. \frac{\pi d^2}{4} \cdot L. n. \frac{N_e}{60}$	$P_i$	kW	Potencia indicada
	$p. m. i$	kN/m <sup>2</sup>	Presión media indicada
	d	m	Diámetro del pistón
	L	m	Carrera
	n	---	Número de cilindros
	$N_e$	---	Numero de carreras útiles por minuto ( $N_e = \frac{R.P.M.}{2}$ ).

### Par motor. Potencia efectiva ( $P_e$ ).

El par motor es un esfuerzo de rotación, por la fuerza que transmite la biela al codo del cigüeñal. El par motor se calcula multiplicando ésta fuerza por la longitud del codo.

El par máximo del motor no se produce en un régimen de revoluciones motor alto, si no que sucede cuando el llenado y las explosiones son más efectivas. Para el cálculo del par es necesario utilizar un dispositivo que frene el motor, esto se consigue haciendo palanca con una fuerza. Se utiliza un mecanismo llamado freno prony (actualmente se utiliza mecanismos más modernos), que a través de una cincha frena el eje del motor hasta pararlo y se toma la medida del dinamómetro.

La fórmula quedaría de la siguiente forma:

Tabla 2. 12 Ecuación Par motor. Potencia efectiva ( $P_e$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_e = \frac{T \cdot 2\pi \cdot N}{60}$	$P_e$	kW	Potencia efectiva
	T	kN·m	Par torsional
	N	R.P.M.	Revoluciones por minuto

### Potencia de fricción ( $P_f$ ).

La potencia absorbida es difícil de medir, por eso se mide la potencia indicada y la potencia efectiva y la diferencia de ambas es la potencia absorbida. Normalmente el 75% del total de la potencia absorbida es por el rozamiento de los segmentos con las paredes del cilindro.

Tabla 2. 13 ecuación Potencia de fricción ( $P_f$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_f = P_i - P_e$	$P_f$	kW	Potencia de fricción
	$P_i$	kW	Potencia indicada
	$P_e$	kW	Potencia efectiva

### Rendimiento mecánico ( $\eta_m$ ).

Es la razón entre la potencia efectiva, medida en el eje del motor y la potencia indicada desarrollada dentro de él.

Tabla 2. 14 Ecuación Rendimiento mecánico ( $\eta_m$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_e}{P_e + P_f}$	$\eta_m$	---	Rendimiento mecánico
	$P_e$	kW	Potencia efectiva
	$P_i$	kW	Potencia indicada
	$P_f$	kW	Potencia de fricción

### Presión media efectiva ( $p.m.e.$ )

La presión media al freno, se define como la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor, para

producir una potencia igual a la efectiva. La cual se obtiene de la siguiente manera:

Tabla 2. 15 Ecuación Presión media efectiva (*p. m. e.*).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$p.m.e. = \frac{60 \cdot P_e}{L \cdot A \cdot n \cdot N_e}$	<i>p. m. e</i>	kN/m <sup>2</sup>	Presión media efectiva
	<i>P<sub>e</sub></i>	kW	Potencia efectiva
	<i>A</i>	m <sup>2</sup>	Área del pistón
	<i>L</i>	m	Carrera
	<i>n</i>	---	Número de cilindros
	<i>N<sub>e</sub></i>	---	Numero de carreras útiles por minuto ( $N_e = \frac{R.P.M.}{2}$ ).

### Presión media indicada (*p. m. i.*).

La presión media indicada se define como la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante una carrera de potencia del motor, para producir una potencia igual a la indicada y se obtiene con la siguiente ecuación:

Tabla 2. 16 Ecuación Presión media indicada (*p. m. i.*).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$p.m.i. = \frac{60 \cdot P_i}{L \cdot A \cdot n \cdot N_e}$	<i>p. m. i.</i>	KN/m <sup>2</sup>	Presión media indicada
	<i>P<sub>i</sub></i>	KW	Potencia indicada
	<i>A</i>	m <sup>2</sup>	Área del pistón
	<i>L</i>	m	Carrera
	<i>n</i>	---	Número de cilindros
	<i>N<sub>e</sub></i>	---	Numero de carreras útiles por minuto ( $N_e = \frac{R.P.M.}{2}$ ).

## 2.6 Mediciones realizadas durante la prueba

### Medida del gasto de combustible

Es de interés tanto para conocer el consumo de combustible como para determinar la regulación y consumo específico del motor. Esta medida consiste en determinar el tiempo empleado por el motor en consumir una determinada cantidad de combustible, funcionando de manera estable.

Por lo tanto el tiempo de medida deberá ser, lo suficientemente largo como para evitar grandes errores de medida y por el otro lado, lo bastante corto como para garantizar las condiciones de funcionamiento estable del motor durante la medida de tiempo. En motores de combustión interna alternativos se recomienda un tiempo de medida entre 60 y 30 segundos.

Para la medida de éste parámetro las soluciones más empleadas son:

- **Método gravimétrico:** Se determina el tiempo empleado por el motor en consumir una masa conocida de combustible almacenado en el depósito de una balanza de precisión (fig. 2.5). Aunque ésta es la manera más simple de determinar el gasto de combustible, presenta el inconveniente de que es un sistema notable costoso.<sup>24</sup>

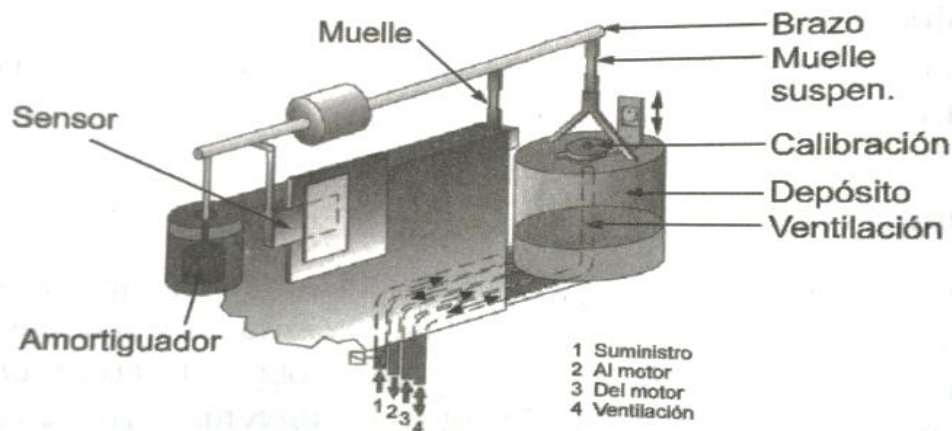


Figura 2.5 Medidor gravimétrico de combustible

- **Método volumétrico:** En este método se determina el tiempo empleado por el motor en consumir un volumen conocido de combustible existente en una probeta aforada, instalada mediante una línea en paralelo a la alimentación de combustible y conectada con éste, y el motor mediante una

<sup>24</sup> Ruiz Rosales Santiago, 2005, Prácticas de motores de combustión, pag. 90.

válvula de 3 vías (fig. 2.6). La instalación es muy simple por lo tanto más barata que la anterior, pero presenta el inconveniente que es un método sensible a las variaciones de temperatura del combustible

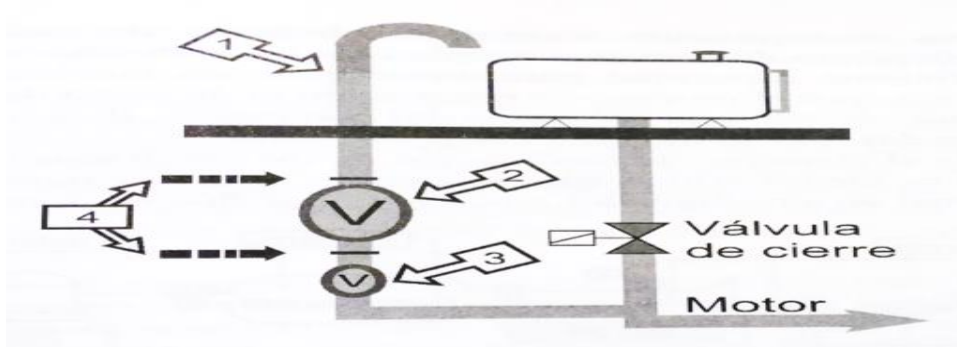


Figura 2. 6 Medidor volumétrico de combustible.

### Medida del gasto de aire

La medida del gasto de aire en motores de combustión interna es una medida de gran importancia pero a la vez una de considerable dificultad, debido a que el motor es una maquina en la que el fluido de trabajo es principalmente aire; la función del combustible es únicamente la de elevar la temperatura del fluido de trabajo mediante aporte energético en forma de calor.

En motores de aspiración natural, el elemento de medida se instala a la entrada de un depósito de remanso acoplado a la admisión del motor (fig. 2.7) y con suficiente capacidad para amortiguar las inevitables oscilaciones de presión producidas por el proceso de renovación de la carga del motor. En motores sobrealimentados, debido a la presencia del compresor, dichas oscilaciones suelen estar más atenuadas, por lo que no es imprescindible el uso del depósito, siendo la tobera calibrada el elemento de medida que da resultados más satisfactorios en este caso.

A continuación se hace una descripción de los elementos de medida más utilizados para la medida del gasto de aire en un motor.<sup>25</sup>

- **Tobera calibrada:** Se trata de medir la diferencia de presión ( $\Delta p$ ) entre el cuerpo de la tobera por el que circula el fluido con un a cierta velocidad y el ambiente que correspondería a las condiciones de remanso
- **Orificio calibrado:** Consiste en un orificio circular concéntrico con el tubo por el que circula el fluido, midiéndose el salto de presiones con un manómetro diferencial colocado antes y después de dicho orificio.

<sup>25</sup> Ruiz Rosales Santiago, 2005, Prácticas de motores de combustión, pag. 91

- **Caudalimetro de flujo laminar:** este elemento consiste en un tubo metálico que contiene en su interior un elevado número de conductos separados por paredes delgadas. El flujo a través de dichos conductos es sustancialmente laminar y como consecuencia la diferencia de presión entre sus extremos es proporcional a la velocidad de paso del fluido, y no cuadrática con la velocidad como en los casos anteriores.
- **Anemómetro de hilo caliente:** Un anemómetro térmico normal mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor mediante un pequeño sensor calentado eléctricamente (un hilo o una película delgada) expuesto al fluido bajo estudio, El sensor calentado es mantenido a una temperatura constante usando un circuito de control electrónico. El efecto de enfriamiento resultante del paso del fluido a través del sensor se compensa aumentando el voltaje del sensor.

La magnitud del aumento de voltaje necesario para mantener la temperatura constante está directamente relacionada con la transferencia del calor y, por tanto, con la velocidad del fluido. La anemometría por hilo caliente es ideal para la medida de velocidades en fluidos puros (gases, y líquidos) de temperatura uniforme.

Su alto rango dinámico permite la medición de fenómenos turbulentos con una alta precisión hasta frecuencias muy altas. La técnica de hilo caliente es una medición invasiva, aunque sólo implique el emplazamiento de una pequeña sonda en el fluido de interés.<sup>26</sup>

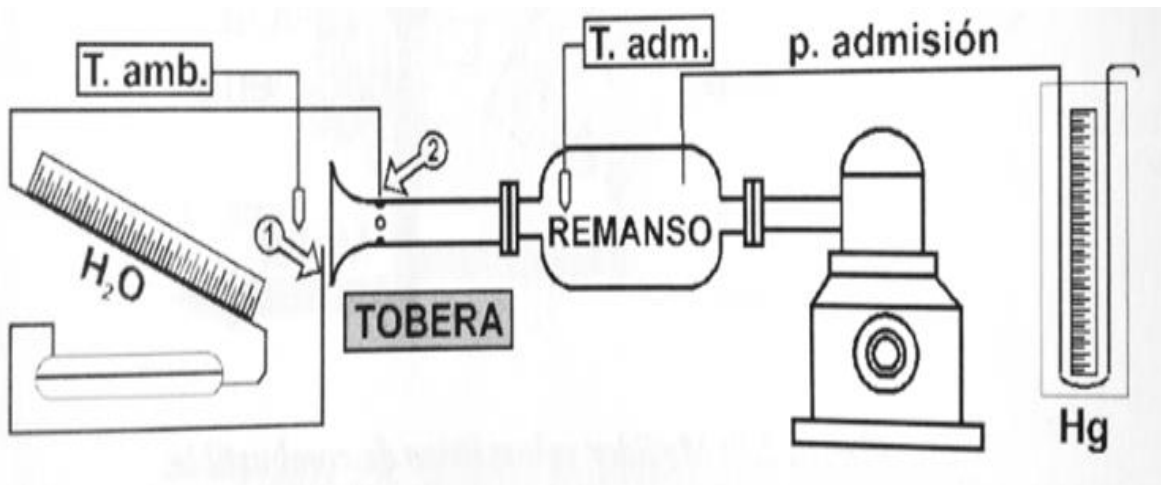


Figura 2.7 Instalación para la medida del gasto de aire.

<sup>26</sup> Ruiz Rosales Santiago, 2005, Prácticas de motores de combustión, pag. 92.

## Medida de temperaturas

La temperatura es una magnitud física intensiva que no se puede medir directamente sino a través de otra magnitud que está relacionada con ella. Existen diversos métodos para realizar dicha medida: Termómetros de líquido, termómetros de gas a volumen constante, termómetros eléctricos, pirómetros ópticos, etc.

Esta medida es fundamental en el estudio de los procesos asociados al funcionamiento del motor. Entre los termómetros eléctricos más empleados en los ensayos del motor, se pueden citar los siguientes:

- **Termorresistencias:** Son resistencias de metal cuyo valor varía linealmente con la temperatura. Los metales más utilizados suelen ser el platino, el cobre, el níquel y el wolframio. De todos ellos, el que de mayor linealidad presenta es el primero, siendo este a su vez el más claro. De los termómetros eléctricos, las termorresistencias son en general, los que tienen una mayor precisión y linealidad.
- **Termopares:** Estos transductores son los más utilizados para la medida de la temperatura por su funcionamiento simple. Estos se basan en la propiedad que tienen los metales por lo cual, acoplados mediante dos uniones sometidas a distintas temperatura, generando una fuerza automotriz.
- **Termistores:** son elementos semiconductores con una elevada sensibilidad, aunque su falta de linealidad es acusada. Estos elementos, dependiendo de su constitución, presentan grandes variaciones de su resistencia, tanto en sentido negativo como en sentido positivo, sobre su amplio rango de temperaturas. Su principal ventaja es la alta velocidad de respuesta, especialmente con configuraciones geométricas de tamaño reducido.<sup>27</sup>

## Medida de la presión media

La medida de la presión tiene una importancia notable, tanto en los colectores de admisión y escape para el estudio de proceso de renovación de la carga, como en el interior del cilindro para estudios de combustión. Además, esta variable puede ser, en ocasiones, fundamental en sistemas auxiliares del motor como el sistema de lubricación refrigeración, sistema de inyección.

Para encontrar este valor se pueden utilizar transductores mecánicos que responden a la presión con algún tipo de desplazamiento, como muelles resortes,

<sup>27</sup> Ruiz Rosales Santiago, 2005, Prácticas de motores de combustión, pag. 94-95.



etc. Sin embargo por su simplicidad, bajo costo y auto calibración, las columnas líquidas (agua o mercurio) son las más utilizadas para este tipo de medidas.

### **Medida de la presión instantánea.**

Para obtener dicha medición se ha generalizado el uso de los siguientes transductores eléctricos.

- **Transductores piezorresistivos:** Se basan en la propiedad de los semiconductores de variar su resistencia cuando son deformados por la acción de la presión. Permiten medir tanto presión media como instantánea. La sensibilidad y la frecuencia natural de éstos transductores son elevados pero presentan un elevado nivel de derivas térmicas.
- **Transductores piezoeléctricos:** Se basan en la propiedad que tienen los cristales de cuarzo para generar una carga eléctrica cuando son sometidos a presión. Por ser la señal generada por el transductor una carga eléctrica, es más susceptible de ser perturbada por ruido externo al sistema de medida, lo que exige especial atención en la elección de los conductores, longitudinales, conectores y sobretodo extremada limpieza en la conexión. La temperatura máxima de trabajo es 300 °C y su sensibilidad varía con la temperatura.

### **Medida de la posición angular**

La determinación de la posición angular es impredecible para referenciar los valores de las variables instantáneas en términos del ciclo del motor. Con este fin, se emplean codificadores ópticos o magnéticos, que son sensibles a la presencia de dientes u orificios en la periferia del volante de inercia del motor, permitiendo así obtener bien la referencia a que se aludía con su anterioridad, bien una lectura de la posición angular en función del tiempo que puede dar información sobre la regularidad de giro del motor (fig 2.8).<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Ruiz Rosales Santiago, 2005, Prácticas de motores de combustión, pag. 99.

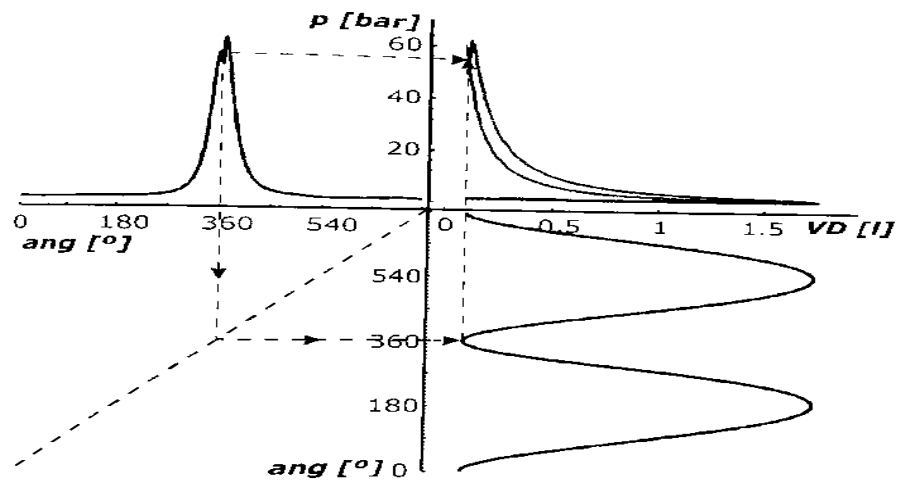


Figura 2. 8 Determinación de diagrama indicador.



## Capítulo 3

### Equipo para ensayo de motores

Generalmente el ensayo de motores implica el registro de diversas variables que definen determinados procesos o que representan el comportamiento global del motor. El registro de señales va indirectamente relacionado con el empleo de instrumentación que proporcione una magnitud fácilmente almacenada y que cuantifique la variable física a analizar.

Se ha podido comprobar que en la mayoría de los casos es posible obtener una magnitud eléctrica como consecuencia de la detección de una variable física. Por otro lado los avances de la electrónica y consecuentemente de los sistemas de adquisición de datos permiten el registro de dichas señales eléctricas, bien para su posterior análisis o bien para operaciones de control y regulación del motor.

El registro de señales en motor cobra especial importancia en la adquisición de variables instantáneas, ya que generalmente es preciso referenciar dichas variables a algún parámetro característico del motor, como ejemplo el ángulo de giro del cigüeñal o el volumen desplazado por el embolo.

Entre las variables instantáneas que generalmente se miden en motor, se pueden citar las siguientes:

- Presión en la cámara de combustión, para el estudio de la fenomenología del proceso de combustión.
- Presión en colectores de admisión y escape, indispensable para el estudio del proceso de renovación de la carga.
- Presión en la línea de inyección, para el análisis del sistema de inyección.
- Velocidades locales en el interior del cilindro, estudio del movimiento de la carga del cilindro.

Ahora se describirán los principales componentes que tiene el banco de pruebas

### 3.1 Banco de pruebas del laboratorio de máquinas térmicas.

#### Motor.

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones del motor instalado en el laboratorio.

Tabla 3. 1 Especificaciones del motor instalado en el laboratorio.

<b>Características del motor</b>	
<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
<b>Tipo y número de cilindros</b>	6 en línea
<b>Diámetro</b>	9.931 centímetros (3.910 pulgadas)
<b>Carrera</b>	9.893 centímetros (3.895 pulgadas)
<b>Desplazamiento</b>	4622 centímetros cúbicos (4.6 Litros / 282 pulgadas cúbicas)
<b>Relación de Compresión</b>	8.5 : 1
<b>Gasolina</b>	90 Octanos.
<b>Potencia SAE neta</b>	172 Caballos de Fuerza a 4200 Revoluciones por Minuto
<b>Par Motor SAE neto (Torque)</b>	American GT 1980:30.15 Kilogramos metro a 2100 Revoluciones por Minuto (218 Libras pie a 2100 Revoluciones por Minuto)
	Rally GT 1981: 31.11 Kilogramos metro a 2600 Revoluciones por Minuto (225 Libras pie a 2600 Revoluciones por Minuto)
<b>Carburador</b>	Dos Gargantas
<b>Marcha Mínima del Motor (solo transmisión manual)</b>	700 + 25 Revoluciones por Minuto (A más de 1500 Metros Sobre el Nivel del Mar) - 525 + 25 RPM (A menos de 1500 metros SNM)
<b>Ajuste de Punterías</b>	Buzos hidráulicos autoajustables
<b>Bujías</b>	(Champion) N-12-Y
<b>Calibración de Bujías</b>	0.889 milímetros (0.035 pulgadas)
<b>Orden de Encendido</b>	1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4
<b>Distribuidor</b>	Electrónico (Sin Platinos)
<b>Tanque de combustible</b>	20 litros

## Freno dinamómetro hidráulico

El freno hidráulico se encuentra montado sobre el banco de pruebas para el motor, el cual se acopla al mismo por medio de una flecha cardán.

El freno es de tipo dinamómetro hidráulico de la marca “Henna & Froude” no reversible, modelo DPX-1, con número de serie TE/4573. Es capaz de absorber 116 kW a 5500 rpm. Trabaja por medio de agua y su función es frenar el giro del motor al incrementar la cantidad de agua que circula dentro del freno. Los elementos que componen al freno son los siguientes:

**Rotor:** Se monta sobre una flecha la cual se encuentra conectada al cigüeñal del motor y gira sobre rodamientos de bolas. El rotor tiene en cada lado y en su periferia medios ganguilones, los cuales impulsan al agua provocando un movimiento de giro turbulento cuando gira el rotor.

**Estator:** Está dividido en dos partes y tiene como función proporcionar una abertura o cierre del flujo de agua hacia la carcasa del freno, en cada mitad del estator se tienen medios ganguilones. La abertura y cierre del estator se realiza por medio de un pequeño volante situado en el exterior de la carcasa; si el volante gira en sentido horario se abre el estator, provocando mayor turbulencia y en consecuencia mayor golpe de agua sobre la carcasa, provocando un giro sobre ésta, en sentido inverso al giro del rotor.

**Carcasa:** Se encuentra montada sobre baleros independientes, de tal manera que pueda girar libremente sobre la flecha del rotor, así como sobre el bastidor del freno. A ésta tendencia de giro se opone la acción de un brazo que actúa sobre una celda de carga permitiendo así medir el par.

### 3.2 Sistemas de Adquisición de datos para motores endotérmicos.

#### ➤ **SAD/CT - Sistema de Adquisición de Datos para la Determinación del Ciclo Termodinámico de Motores Endotérmicos.**

El sistema computarizado SAD/CT permite la determinación, en tiempo real, del ciclo termodinámico de motores endotérmicos, de gasolina o Diesel.

El sistema se basa en la adquisición, mediante oportunos transductores, de la presión en el interior del cilindro y del ángulo de rotación del árbol motor (ángulo de manivela), en la conversión Analógico/Digital de las señales eléctricas en salida de los transductores y en la sucesiva elaboración en ordenador.

Se pueden, de esta forma, obtener y visualizar en el ordenador los valores de la presión tanto en función del ángulo de manivela cuanto en función del volumen de la cámara de combustión, haciendo posible el trazado del ciclo indicado que puede ser luego comparado con los ciclos termodinámicos ideales de referencia.

La posibilidad de memorizar de forma permanente los datos adquiridos permite una fácil comparación entre las diversas condiciones de funcionamiento, permitiendo al alumno comprender a fondo las relaciones entre las condiciones operativas del motor y el ciclo termodinámico que se realiza en el interior de la cámara de combustión.

El sistema ha sido diseñado para ser utilizado con los bancos de prueba motores Didacta T100D, T101D, cuyas características están ilustradas en los respectivos catálogos.

El sistema puede, además, ser integrado con el Sistema Automático de Adquisición de Datos para Motores Endotérmicos SAD/END, que permite la ejecución de otras pruebas de tipo dinámico sobre el motor.

## Composición

El sistema comprende:

- Kit de transductores electrónicos para aplicar al banco de prueba motores Diesel y gasolina, para la adquisición de la presión en el cilindro y de la posición angular del árbol motor.
- Unidad de acondicionamiento señales y conversión A/D.
- Software para la adquisición y el análisis de los datos operante en ambiente MS-Windows.

## Características

### ***Kit transductores electrónicos***

El kit comprende los siguientes transductores electrónicos:

- Transductor electrónico de presión de alta temperatura de tipo piezoeléctrico para la medición de la presión en el cilindro  $p$ , con rango de medida 0÷200 bar;
- Bujía instrumentada para motores de gasolina apropiada para contener el transductor de presión (a definir según el tipo de bujía original usada por el motor); suministrada de serie en caso de adquisición de motor de gasolina;
- Adaptador tipo bujía para motores Diesel para contener el transductor de presión (a definir según el tipo de bujía original usada por el motor); suministrada de serie en caso de adquisición de motor Diesel;
- Transductor angular de posición de tipo óptico (Encoder) para la medición de la posición angular del árbol motor  $\theta$  en grados, con rango de medida 0÷360° y resolución 1°, a montar sobre el freno motor.

Los transductores pueden ser instalados de forma extremadamente sencilla, sin necesidad de modificaciones en el motor.

A continuación se explica todo lo referente a un Encoder.



## **Encoder**

Un encoder óptico es un sensor que permite detectar el movimiento de rotación de un eje

En definitiva se trata de un transductor que convierte una magnitud de un mecanismo, tanto posición lineal como angular a una señal digital (a través de un potencial).

El encoder estará operando en relación al eje del elemento cuya posición deseamos determinar. Y su fundamento viene dado por la obtención de la medida en base a la luz que traspasa una serie de discos superpuestos que codificarán la salida digital.



Figura 3. 1 Encoder.

### **Principio de operación del Encoder**

El principio de operación de un encoder se basa en los llamados fotoacopladores. Éstos son pequeños chips que consisten en un diodo en forma de fotoemisor y un transistor que realiza las tareas de fotorreceptor. Este elemento se encarga de detectar la presencia/ausencia de la luz a través de los discos concéntricos al eje, los cuales están fabricados con unas ranuras que dejan pasar la luz en función de una codificación utilizada para obtener la medida final.

#### **Tipos de Encoders Ópticos**

- Incrementales
- Absolutos

Se explicará lo referente a los encoders incrementales ya que es con el que se cuenta en el equipo de laboratorio.

Los codificadores incrementales constan de un disco transparente al cual superponemos la plantilla de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí. El sistema fotoacoplador se encuentra en la parte posterior. El eje del que queremos obtener la medida lo acoplamos en el centro del disco. De esta manera, a medida que el eje comience a girar se irán produciendo pulsos eléctricos en el receptor cada vez que la luz atraviese una marca de los discos. Si llevamos la cuenta de estos pulsos a través de la adquisición de la señal en el fotorreceptor podremos conseguir una medida real de la posición del eje.

Sin embargo, existe el problema de determinar el sentido de giro del eje, por lo tanto no estaríamos contando adecuadamente.

La solución correcta a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas desplazadas respecto a la anterior de manera que cuando se produzcan los pulsos tengamos un desfase de  $90^\circ$  respecto al anterior. Con esta disposición, y con la herramienta matemática que nos proporciona el producto vectorial podemos construir un circuito sencillo que obtenga el sentido de giro del eje y así podamos bien incrementar o decrementar la medida.

También necesitaremos disponer de una marca adicional que nos indique cuando se ha dado una vuelta completa y que por tanto comienza la cuenta de nuevo. Esta marca también nos va a servir para poder comenzar a contar de nuevo donde nos habíamos quedado tras una caída de la tensión.

Clasificación de Encoders Incrementales atendiendo a su salida:

- **Unidireccionales:** dan una salida y no se puede determinar el sentido de giro. Sólo nos servirá para obtener valores absolutos. Por ejemplo, para obtener velocidades absolutas sin importar el sentido de giro.
- **Bidireccionales:** nos ofrece dos salidas A y B. El sentido se va a distinguir por la diferencia de fase citada anteriormente. Será útil cuando necesitemos saber coordenadas exactas tanto positivas como negativas.

### ***Unidad de acondicionamiento señales y conversión A/D***

La unidad suministra la alimentación eléctrica a los transductores y realiza el acondicionamiento de las señales eléctricas suministradas por los transductores al fin de adaptarlos a la tarjeta de conversión A/D. La tarjeta de conversión A/D utilizada es particularmente veloz, debiendo operar con frecuencia de muestreo

suficientemente alta con respecto a la frecuencia de rotación del árbol motor. Se utiliza una tarjeta profesional de 12 bit, dotada de memoria a bordo y de un procesador DSP (Digital Signal Processing), que se puede conectar al ordenador PC de forma extremadamente fácil, a través de la puerta paralela.

### ***Software de adquisición y análisis de los datos***

El software de adquisición y análisis opera en ambiente MS-Windows y es extremadamente sencillo de usar.

El software permite producir en vídeo, en tiempo real, los diagramas relativos al ciclo indicado, por ejemplo el diagrama de la presión en función del ángulo de manivela  $p = p(\theta)$  o en función del volumen de la cámara misma  $p = p(v)$ .

Permite, además, analizar los datos adquiridos para evaluar los principales parámetros que caracterizan la combustión como, por ejemplo, el valor máximo alcanzado por la presión  $p_{\text{máx}}$ , el ángulo de manivela correspondiente  $\theta_{\text{máx}}$ , el valor máximo de la derivada antes de la presión en función del ángulo de manivela  $[dp(\theta)/d\theta]_{\text{máx}}$ , etc.

Los datos adquiridos y los parámetros calculados se pueden salvar en un file, en formato ASCII, para ser exportados hacia otros programas de análisis o para volver a ser cargados sucesivamente. La posibilidad de memorizar los ciclos adquiridos permite, además, comparar la situación de la presión en ciclos sucesivos, evidenciando la dispersión cíclica y la situación de la presión en diferentes condiciones de funcionamiento, permitiendo al alumno comprender a fondo las relaciones entre las condiciones operativas del motor y el ciclo termodinámico que se realiza en el interior de la cámara de combustión.

Los datos y los diagramas obtenidos pueden ser examinados en vídeo o impresos. Por cada diagrama es posible modificar la escala de los ejes, efectuar mediciones mediante cursores, y elegir numerosas opciones de representación.

### **Prácticas realizables**

- Visualización en tiempo real de la situación de la presión en la cámara de combustión en función del ángulo de manivela  $p = p(\theta)$ .
- Visualización en tiempo real de la situación de la presión en la cámara de combustión en función del volumen de la cámara misma  $p = p(v)$ .
- Visualización y comparación de la situación de la presión en la cámara de combustión en ciclos diferentes (dispersión cíclica).

- Comparación entre ciclos indicados determinados experimentalmente y los correspondientes ciclos termodinámicos ideales de referencia.
  - Elaboración sucesiva de los datos adquiridos por el Software.
  - Evaluación de la presión media indicada pmi.
  - Evaluación del rendimiento orgánico.
  - Determinación y cálculo de los principales parámetros que caracterizan la combustión y la situación de la presión en el interior del cilindro como, por ejemplo:
    - Valor máximo de la presión en el ciclo  $p_{m\acute{a}x}$ ;
    - Ángulo de manivela correspondiente a la presión máxima  $\theta_{p_{m\acute{a}x}}$ ;
    - Valor máximo de la derivada antes de la presión con respecto al ángulo de manivela del ciclo  $[dp(\theta)/d\theta]_{m\acute{a}x}$ .

### **Configuración mínima para PC**

- Ordenador mínimo Pentium con Disco Rígido (>10 Gb), CD drive, tarjeta gráfica SVGA mínimo, ratón, RAM 32 MB, puerto USB.
- Windows-XP o versiones sucesivas.
- Impresora gráfica.

### **Servicios necesarios**

- Alimentación eléctrica: 220/240 V, 50/60 Hz monofásica, 0,2 kW.

### **Pesos y dimensiones**

- Dimensiones: 550 x 360 x 210 h mm.
- Peso: 15 kg

### ➤ **SAD/END - Sistema Adquisición Datos para Motores Endotérmicos**

#### **Descripción**

El sistema computarizado SAD/End permite adquirir datos en tiempo real desde los bancos de prueba motores de combustión interna (T85D, T101D, T113D, cuyas características se ilustran en los respectivos catálogos) y obtener las máximas ventajas didácticas.

Se pueden suministrar tres tipos diferentes de sistemas:

- SAD/End versión para T101D (Cód. 914310);
- SAD/End versión para T85D (Cód. 914363);
- SAD/End versión para T113D (Cód. 914364).

El sistema está basado en la adquisición mediante unos transductores de los parámetros característicos del motor, en la conversión Analógico/Digital de las señales eléctricas que salen de los transductores y en la sucesiva elaboración en el Ordenador Personal.

Se trata de un sistema sumamente potente y versátil que permite efectuar medidas computarizadas durante el funcionamiento del motor de manera que los estudiantes puedan comprender a fondo el funcionamiento en sus diferentes condiciones de empleo.

### **Composición**

El sistema incluye:

- un kit de transductores electrónicos que se aplican en el banco de prueba motores, para la adquisición de los datos relativos al par, a la velocidad de rotación, al consumo de aire y de combustible;
- unidad de transformación y adaptación de las señales eléctricas y de conversión A/D;
- un software para la adquisición y el análisis de los datos que trabaja en ambiente MS-Windows.

## **Características**

### ***Kit transductores y unidad de transformación y adaptación de las señales***

El kit comprende los siguientes transductores electrónicos:

- transductor electrónico de presión diferencial para la adquisición del caudal del aire  $Q$ , con un campo de medida adecuado al tipo de banco en prueba;
- transductor electrónico de flujo de turbina para la adquisición del consumo de combustible  $c$ , con un campo de medida adecuado al tipo de banco en prueba;
- transductor electrónico de velocidad angular basado en un sensor magnético y en un convertidor de frecuencia tensión, para la adquisición de la velocidad de rotación  $n$ , con un campo de medida adecuado al tipo de banco en prueba;
- transductor de fuerza basado en una celda de carga para la adquisición del par  $T$ , con un campo de medida adecuado al tipo de banco en prueba.

El sistema incluye, además, una unidad para la alimentación eléctrica de los transductores y la transformación de las señales eléctricas suministradas por los transductores para así adaptarlas a la tarjeta de conversión A/D.

### ***Tarjeta A/D-D/A***

El sistema SAD/End comprende una tarjeta de conversión A/D-D/A, para Ordenadores Personales, completa de conexión serial USB.

### ***Software de adquisición y análisis***

El software de adquisición y análisis trabaja en ambiente MS-Windows y se opera con la máxima facilidad.

La pantalla principal del programa presenta a la izquierda el esquema de funcionamiento del banco con los diferentes puntos de adquisición de datos

Esta permite adquirir los datos del motor en prueba simplemente "clickando" con el mouse el pulsador "Test". Los datos adquiridos se visualizan inmediatamente en la ventana "Acquired Values" mientras que los otros datos obtenidos por éstos, a través de los cálculos se visualizan en la ventana "Calculated Values". La ventana "Keyboard Values" permite introducir, mediante el teclado, los posibles valores que no se pueden adquirir automáticamente.

Una vez obtenidos en la pantalla los datos significativos, es posible confirmarlos en el fichero de trabajo trámite el pulsador "Input". El fichero de trabajo se puede imprimir o salvar en un disquete en formato ASCII. Un fichero de datos salvado anteriormente se puede volver a cargar para obtener nuevamente los diagramas o para añadir a la prueba otros datos experimentales.

Al final de la prueba, se puede obtener en la pantalla o imprimir los diagramas característicos del motor que se está probando.

### **Prácticas a obtener con el equipo SAD/END**

Para la utilización del sistema, el usuario programa desde el teclado las condiciones de la prueba (tipo de motor, cilindrada, combustible, etc.) y después, siguiendo las instrucciones presentadas por el programa, pone el motor en las diferentes condiciones de funcionamiento requeridas. En cada condición, mediante el mando del experimentador, los valores se van adquiriendo, elaborando y memorizando en un fichero de trabajo.

Una vez terminada la serie de adquisiciones previstas para la prueba, se pueden obtener en la pantalla las diferentes curvas características del motor:

Para cada diagrama se puede modificar la escala de los ejes, interpolar los puntos experimentales con una función de grado que puede seleccionar el usuario y elegir otras opciones.

Asimismo, el software permite el calibrado de los canales de adquisición, definiendo para cada uno de ellos el Offset, la Ganancia y el número de promedios.

- característica mecánica
  - Par, potencia y consumo específico en función del número de revoluciones.
  - Rendimiento volumétrico y rendimiento total en función del -número de revoluciones.
  - Presión media efectiva (bmep) en función del número de revoluciones
  - Presión media efectiva normalizada en función del número de revoluciones
  - Par y potencia normalizada en función del número de revoluciones

- característica de regulación
  - Consumo específico en función de la carga
  - Rendimiento total en función de la carga
- cubica de utilización
  - Consumo específico en función del número de revoluciones al variar la carga.
  - Potencia en función del número de revoluciones al variar la carga

### Configuración mínima para PC

- PC mínimo Pentium con Hard Disk (>10Gb) y CD drive, tarjeta gráfica SVGA mínimo, ratón, RAM 32 MB, puerta USB.
- Windows XP o versiones sucesivas.
- Impresora gráfica.

### Pesos y dimensiones

- Dimensiones: 550 x 360 x 350 h mm
- Peso: 15 kg



Figura 3. 2 Ubicación del banco de pruebas y equipos que lo conforman.



## Capítulo 4

### Prácticas del motor de combustión interna empleando el equipo SAD

## Práctica número 1. Normas de seguridad, procedimiento de paro y procedimiento de arranque.

### Objetivo

Conocer las precauciones que se deben de tener antes y después de la operación del equipo para la obtención de datos en las prácticas respectivas.

### Seguridad

Antes de pasar a la ejecución de las mediciones experimentales en los motores alternativos de combustión interna hay que mencionar algunas medidas básicas de seguridad, resumidas a continuación.

#### Obligaciones de los Usuarios del laboratorio<sup>29</sup>

- Participar en la capacitación que proporcione el profesor
- Cumplir con las medidas que señale el Programa Específico de Seguridad e Higiene para la Operación y Mantenimiento de la Maquinaria y Equipo.
- Reportar al profesor cuando los sistemas de protección y dispositivos de seguridad de la maquinaria y equipo se encuentren deteriorados, fuera de funcionamiento o bloqueados.
- Utilizar el equipo de protección personal de acuerdo a las instrucciones de uso y mantenimiento proporcionadas por el responsable del laboratorio.
- Usar el cabello corto o recogido, no portar cadenas, anillos, pulseras, mangas sueltas u otros objetos que pudieran ser factor de riesgo durante la operación.
- Reportar al profesor cualquier anomalía de la maquinaria y equipo que pueda implicar riesgo.

#### Obligaciones de los usuarios del laboratorio que usen equipo de protección personal<sup>30</sup>

- Participar en la capacitación y adiestramiento que el profesor proporcione para el uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones,

---

<sup>29</sup> Norma oficial mexicana nom-004-stps-1999, sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.

<sup>30</sup> Norma oficial mexicana nom-017-stps-2008, equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo

mantenimiento, resguardo y disposición final del equipo de protección personal.

- Utilizar el equipo de protección personal requerido para el área de acuerdo a la indicación previa para tal efecto.
- Revisar antes de iniciar, durante y al finalizar su trabajo, las condiciones del equipo de protección personal que utiliza.
- Cuidar que las condiciones del equipo de protección sean óptimas para que siempre lo proteja, a fin de que si se deteriora se le reemplace.

### **Requisitos de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias inflamables o combustibles<sup>31</sup>**

- En las áreas del laboratorio donde se manejen, transporten o almacenen estas sustancias, en este caso, gasolina; las paredes, pisos, techos, instalaciones y cimentaciones deben ser de materiales resistentes al fuego.
- Se prohíbe el uso de herramientas, encendedores, cerillos y objetos personales que puedan generar chispa, al estar llenando el depósito de combustible. El trasvase de gasolina debe realizarse con la ventilación o aislamiento del proceso suficiente para evitar la presencia de atmósferas explosivas. Las áreas destinadas para este fin deben estar aisladas de cualquier fuente de calor o ignición.
- Los recipientes fijos donde se almacene gasolina deben contar con dispositivos de relevo de presión y arrestador de flama.
- Los sistemas de tuberías que conduzcan gasolina y que estén expuestos al tránsito normal de personas o equipo que los pueda dañar, deben contar con protección para evitar que sean dañados. Esta protección no debe impedir la revisión y el mantenimiento de dichos sistemas de tuberías.
- Cuando el transporte se realice en recipientes portátiles, éstos deberán estar cerrados.

---

<sup>31</sup> Norma oficial mexicana nom-005-stps-1998, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

### **Procedimiento de arranque del motor y equipo de pruebas del laboratorio.**

1. Verificar niveles del equipo; combustible, agua y aceite.
2. Verificar que la torre de enfriamiento cuente con el nivel adecuado de agua para darle el suministro al freno hidráulico del motor.
3. Encender la bomba, abrir la válvula de suministro de enfriamiento para el laboratorio.
4. Verificar que exista flujo de agua al freno hidráulico, observando que exista una variación en la presión del manómetro que está a la entrada del freno del motor de combustión interna
5. Abrir las válvulas a la entrada y a la salida del freno hidráulico del motor de combustión interna.
6. Conectar a la alimentación y encender el equipo de cómputo.
7. Conectar a la alimentación los equipos de medición así como el equipo “SAD-CT” y el equipo “SAD-END”.
8. Abrir válvulas de suministro de combustible.
9. Conectar terminales a la batería.
10. Encender el motor y mantenerlo en funcionamiento 10 minutos para permitir que el motor trabaje en condiciones estables.
11. Encender los equipos de adquisición de datos “SAD-CT” y “SAD-END”.

### **Procedimiento para adquisición de datos programa SAD-CT.**

1. Arrancar el programa “SAD-CT” y abrir un nuevo archivo como se muestra en la figura 4.1.

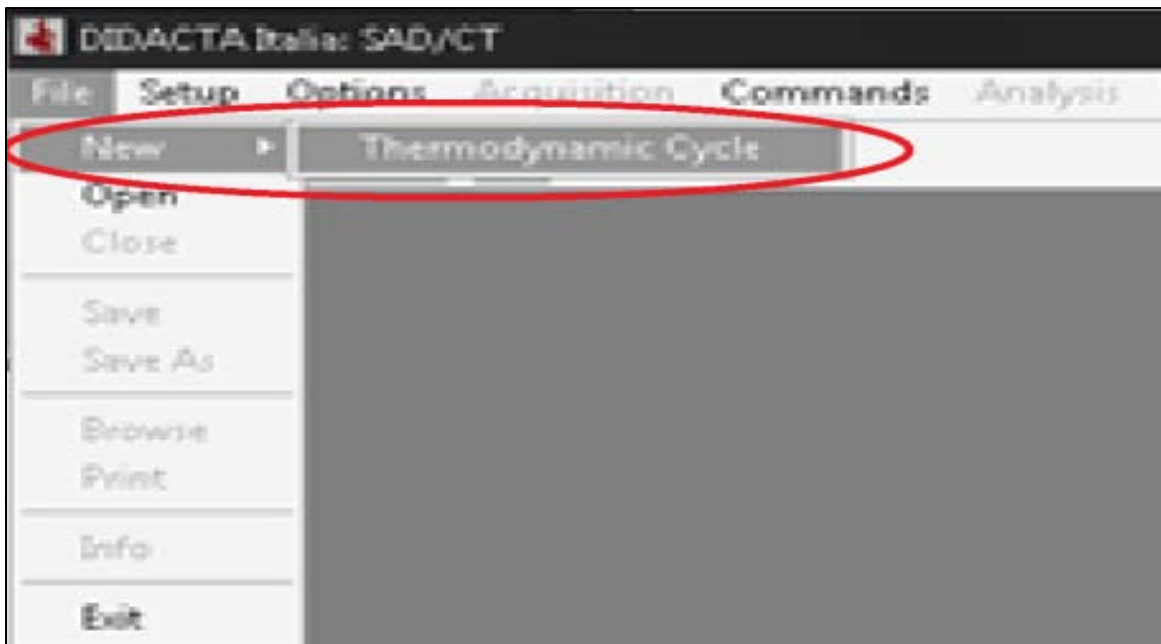


Figura 4. 1 Captura de pantalla programa "SAD-CT" (archivo nuevo).

2. A continuación aparecerá una pestaña en la cual se puede introducir un nombre de la prueba que se realiza para después ubicarla fácilmente, si se agrega un nombre o no, seleccionar el botón ok para continuar.

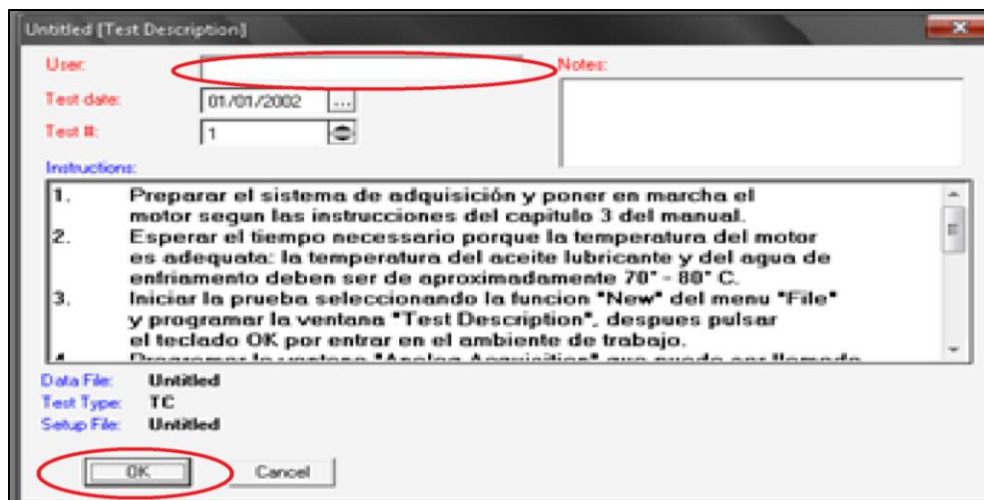


Figura 4. 2 Captura de pantalla programa "SAD-CT" (nombre de la prueba).

3. En la siguiente pantalla se muestran las 3 graficas (figura 4.3) las cuales representan de izquierda a derecha, el voltaje-tiempo, presión-volumen y presión-posición del ángulo del cigüeñal.

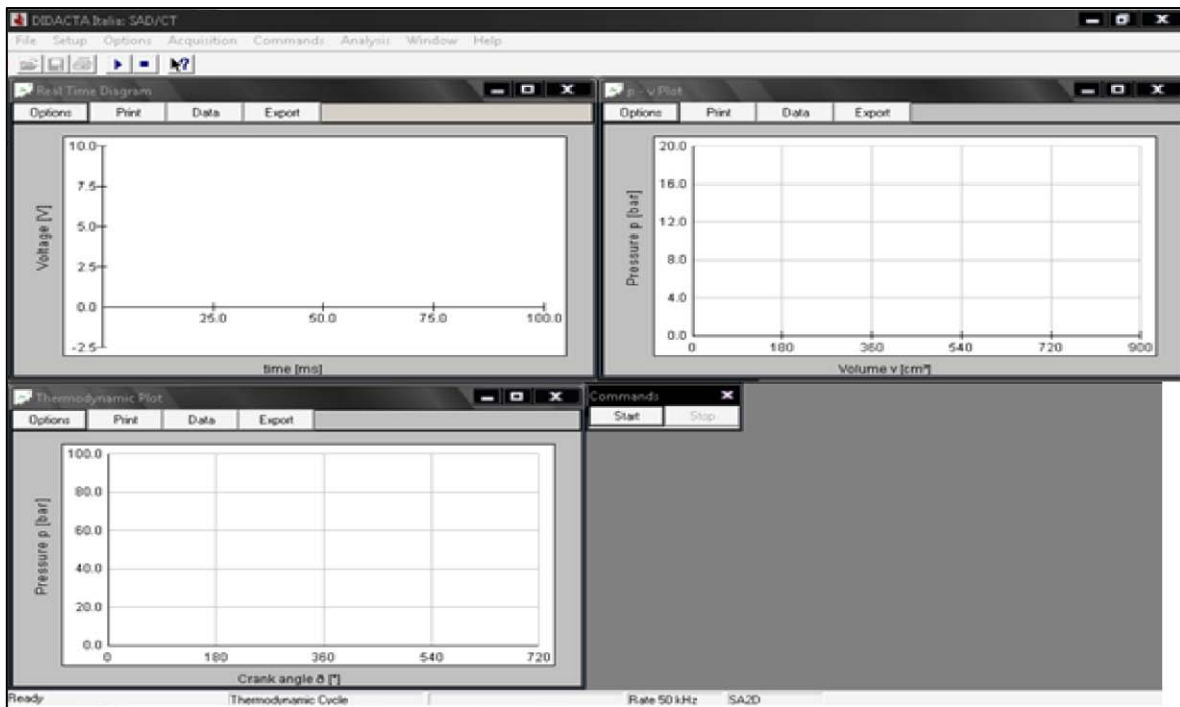


Figura 4. 3 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (visualización de las gráficas indicadoras).

4. En dos de las gráficas se deben variar algunos valores para que la gráfica tenga un rango razonable y se observe de mejor manera los resultados. Las gráficas que se van a editar son, presión-volumen y presión-posición del ángulo del cigüeñal. En la primer grafica entramos al apartado de opciones y seleccionamos el eje “Y” (Y axis) y cambiamos el valor máximo a 60, después seleccionamos el eje “X” (X axis) y cambiamos el valor a 900 como se muestra a continuación en las figuras 4.4, 4.5. Al terminar presionamos “apply” y luego “ok”.

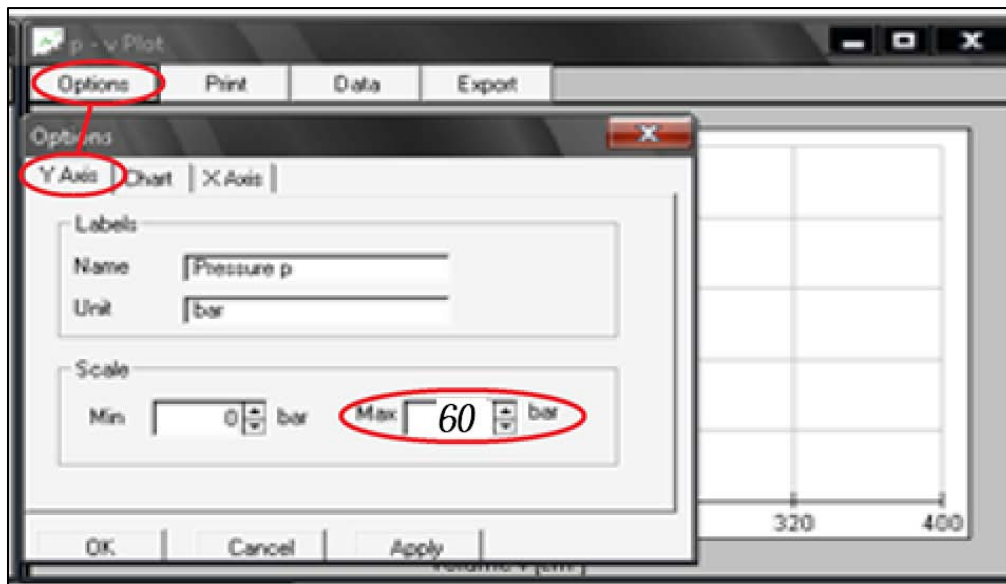


Figura 4. 4 captura de pantalla programa “SAD-CT” (edición del rango “Y” para la gráfica presión-volumen).

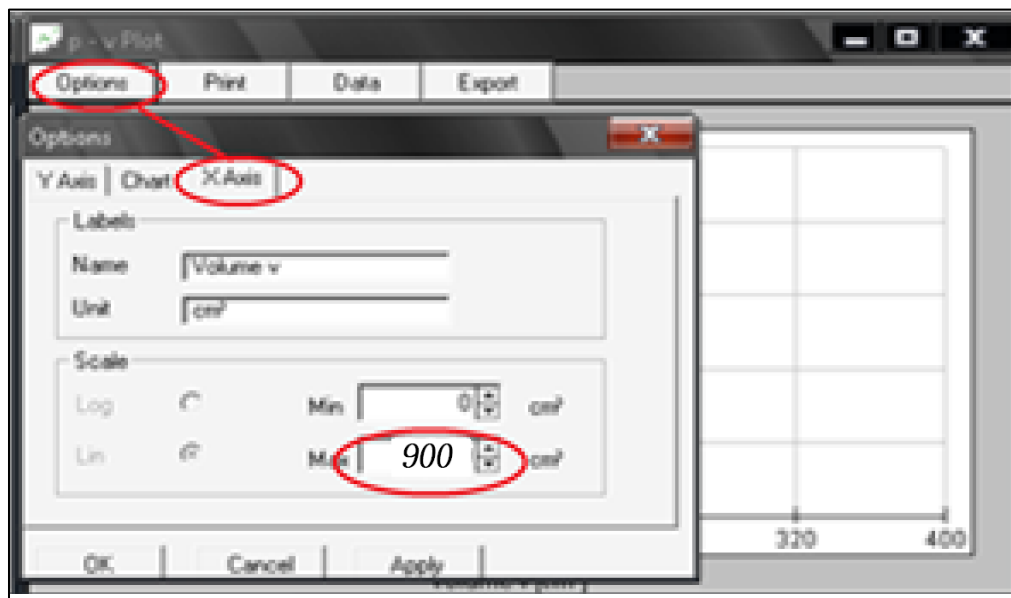


Figura 4. 5 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (edición del rango “X” para la gráfica presión volumen).

5. En la segunda grafica entramos al apartado de opciones y seleccionamos el eje “Y” (Y axis) y cambiamos el valor máximo a 60, como se muestra a continuación en las figuras 4.6. Al terminar presionamos “apply” y luego “ok”.

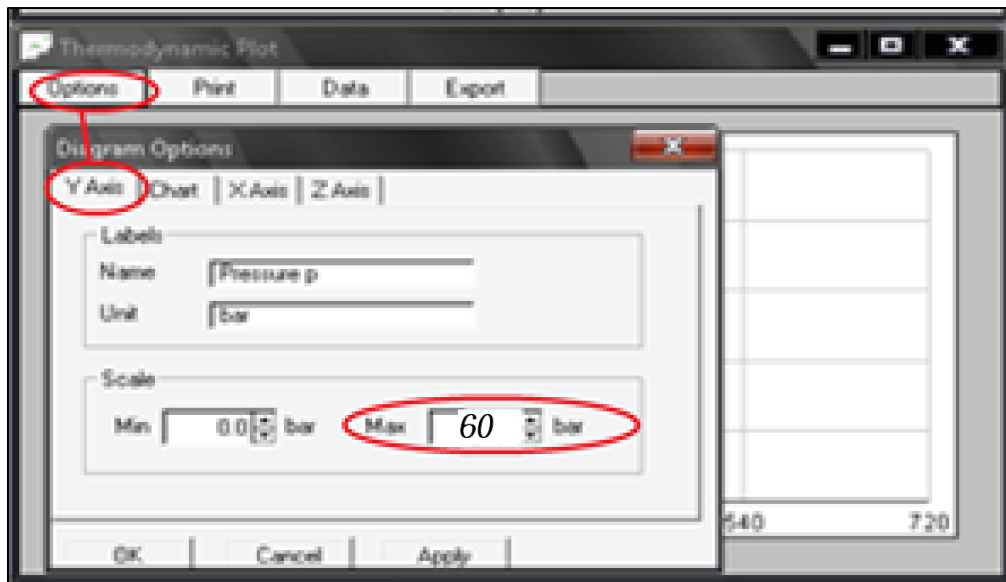


Figura 4. 6 Captura de pantalla programa “SAD-CT”  
(Edición del rango “Y” para la gráfica presión-posición del ángulo del cigüeñal).

6. Al finalizar de editar los valores de las gráficas, seleccionar el apartado de adquisición y verificar que el valor de frecuencia del muestreo sea 10 como se muestra la figura 4.7.

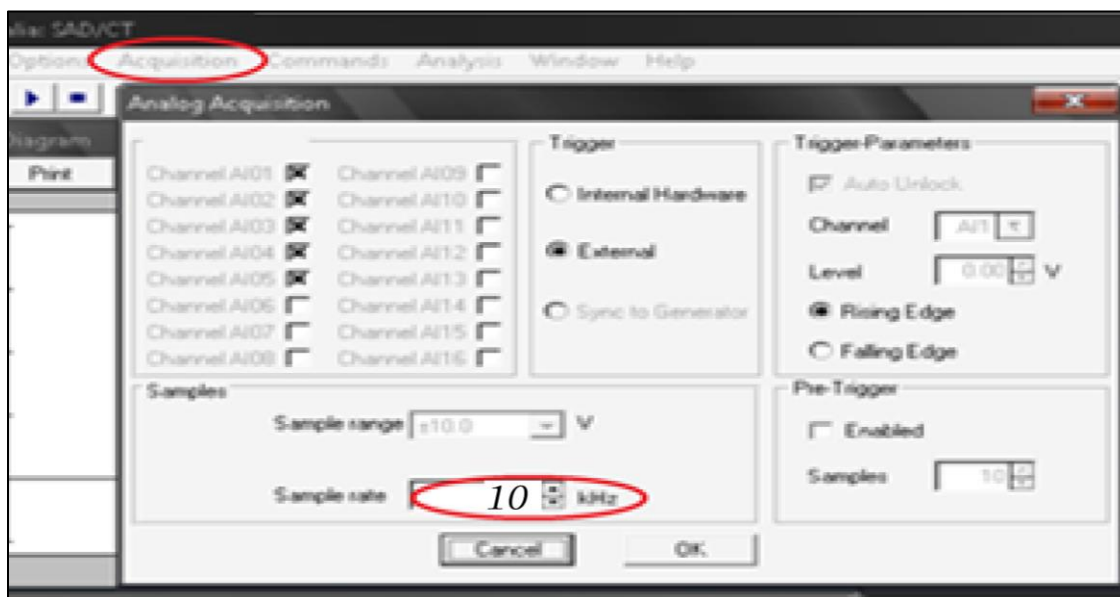


Figura 4. 7 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (edición de la frecuencia en el apartado de adquisición).

7. Una vez según el tipo de prueba y tener fijado la apertura del acelerador y haber suministrado carga al motor con el freno hidráulico hacer el uso de la probeta del flujo de combustible y tomar el tiempo para obtener el consumo



de combustible (el tiempo y la cantidad del combustible dependerá del alumno, se recomienda el uso de toda la probeta).

8. A continuación presionar “start” (figura 4.8) para empezar la toma de lecturas del programa.

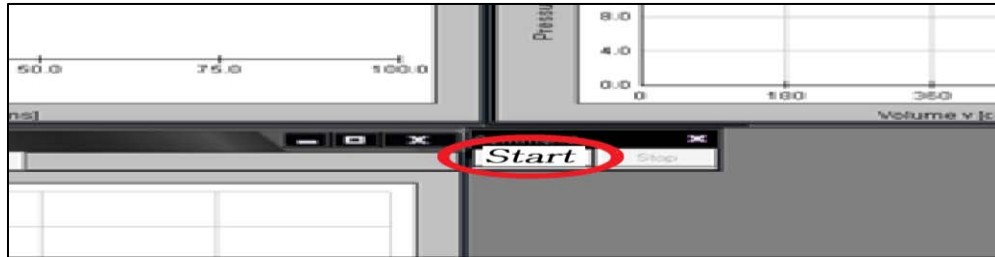


Figura 4. 8 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (inicio de toma de lecturas).

**\*Nota. En el momento de presionar “start” tomar el valor del torque del display en el equipo SAD-END (figura 4.9), ya que este valor será utilizado para calcular los valores resultantes de la prueba realizada.**

9. A continuación se muestran las gráficas antes mencionadas con los resultados de la prueba realizada.

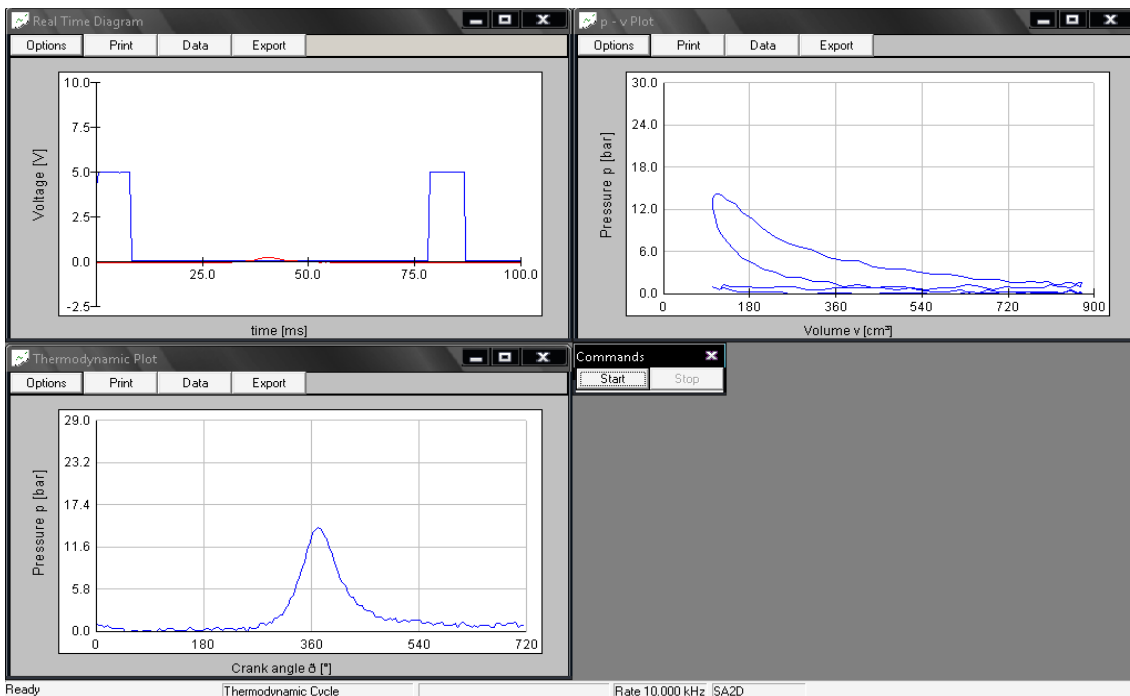


Figura 4. 9 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (ejemplo de graficas resultantes de la prueba realizada).

10. Seleccionar el apartado de opciones de análisis del ciclo termodinámico, y verificar que los valores de la presión y temperatura del ambiente sea el correcto (si no son los correctos cambiarlos), así como los valores de los parámetros del motor, como se muestra en la figura 4.10. Introducir el valor obtenido del torque dado por el equipo SAD-END. Presionar apply y después presionar “calculate”.

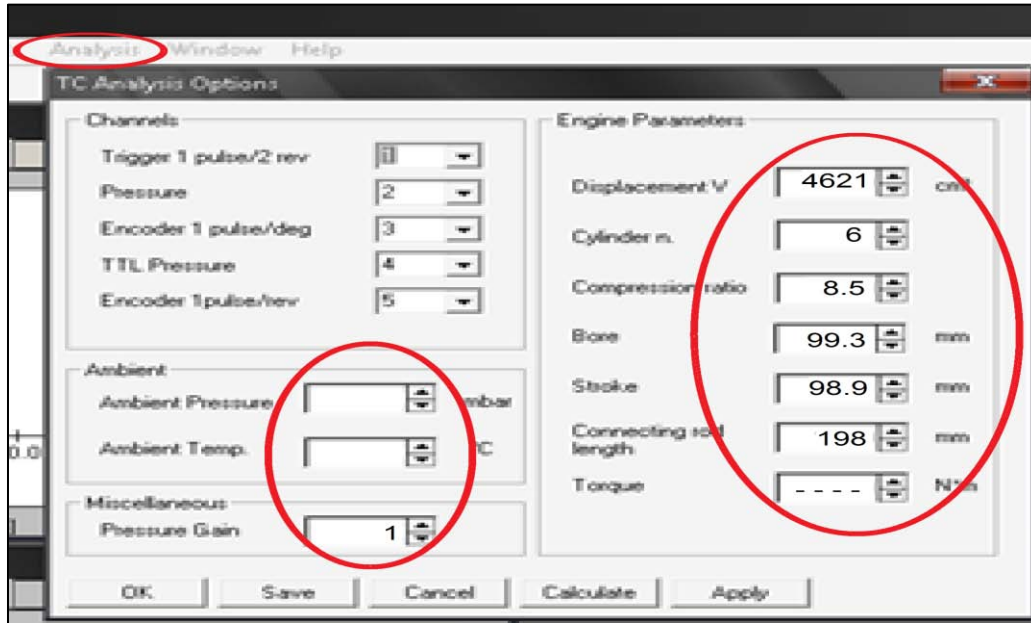


Figura 4. 10 Captura de pantalla programa “SAD-CT”  
(Edición de los parámetros del motor y del ambiente en el apartado de análisis).

11. A continuación se muestra una pantalla de los valores calculados (figura 4.11).

Engine Parameters				
#	Code	Name	Value	Unit
1	Vm	Clearance Volume	90.608	cm <sup>3</sup>
2	bmep	Brake Mean Effective Pressure	3.399	bar
3	imep	Indicated Mean Effective Pressure	2.362	bar
4	etam	Mechanical Efficiency	1.439	-
5	pmax	Max Pressure	14.257	bar
6	δpmax	Max Pressure Angle	371.465	°
7	dpmax	Max Pressure Derivative	.288	bar/°
8	δdpmax	Max Pressure Derivative Angle	353.121	°

Figura 4. 11 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (ejemplo de valores calculados por el programa).

12. Una vez que ya están representadas las gráficas se pueden analizar los valores de cada una seleccionando la casilla data en cada una de las gráficas (figura 4.12, 4.13 y 4.14).

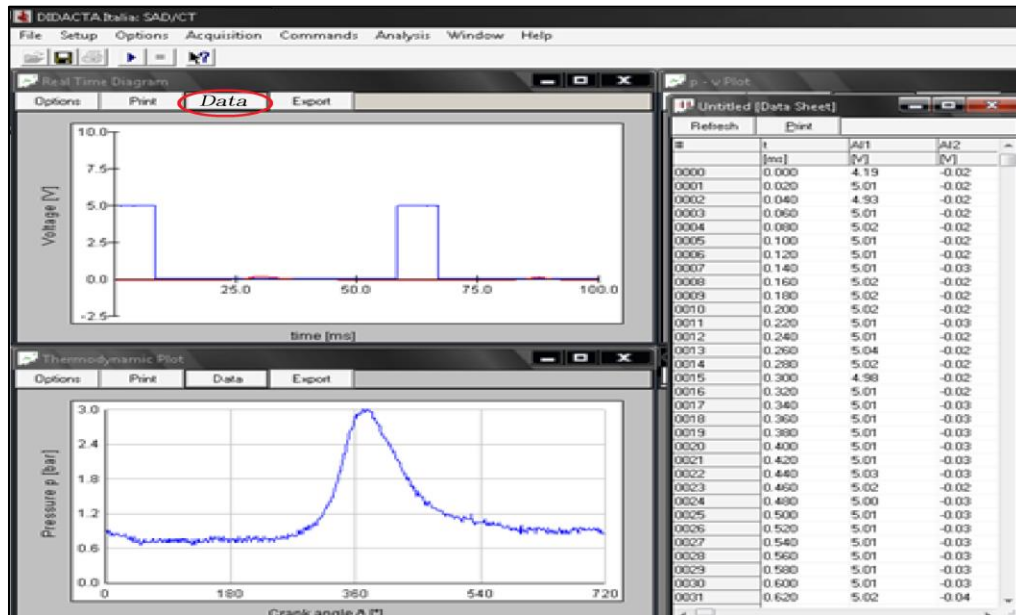


Figura 4. 12 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (ejemplo de valores obtenidos en la gráfica voltaje-tiempo).

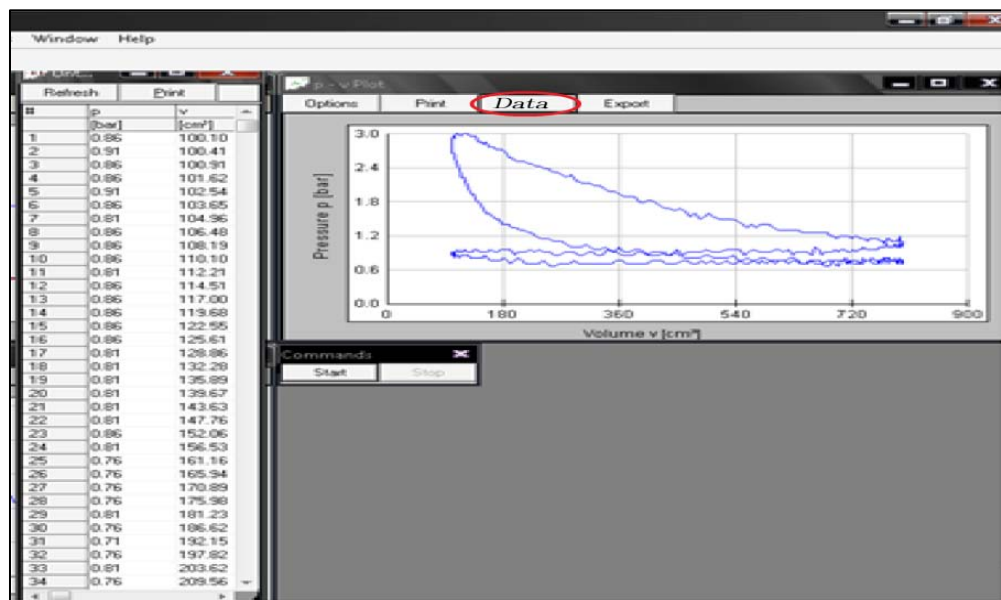


Figura 4. 13 Captura de pantalla programa “SAD-CT” (ejemplo de valores obtenidos en la gráfica presión-volumen).

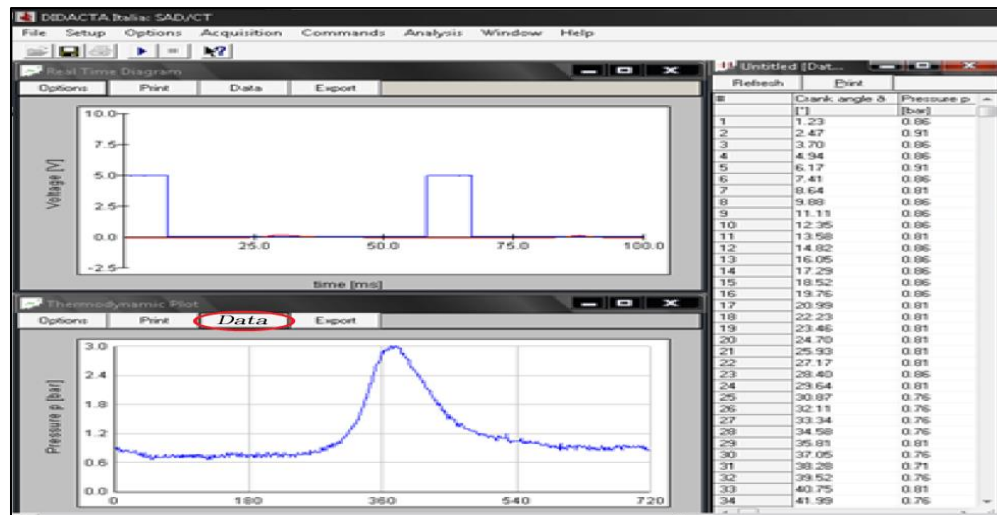


Figura 4. 14 Captura de pantalla programa "SAD-CT"  
(Ejemplo de valores obtenidos en la gráfica presión-posición del ángulo del cigüeñal).

13. Si se desea guardar como imagen la gráfica obtenida por el programa, presionar "export" en las opciones de cada una de estas y seguir con los pasos que se indican para guardar las imágenes.

### Procedimiento para adquisición de datos programa SAD-END.

1. Arrancar el programa “SAD-END”.
2. Seleccionar el apartado T101D Gasoline y a continuación seleccionar torque and POWER vs Speed. (T101D Test 1), como se muestra en la figura 4.15.

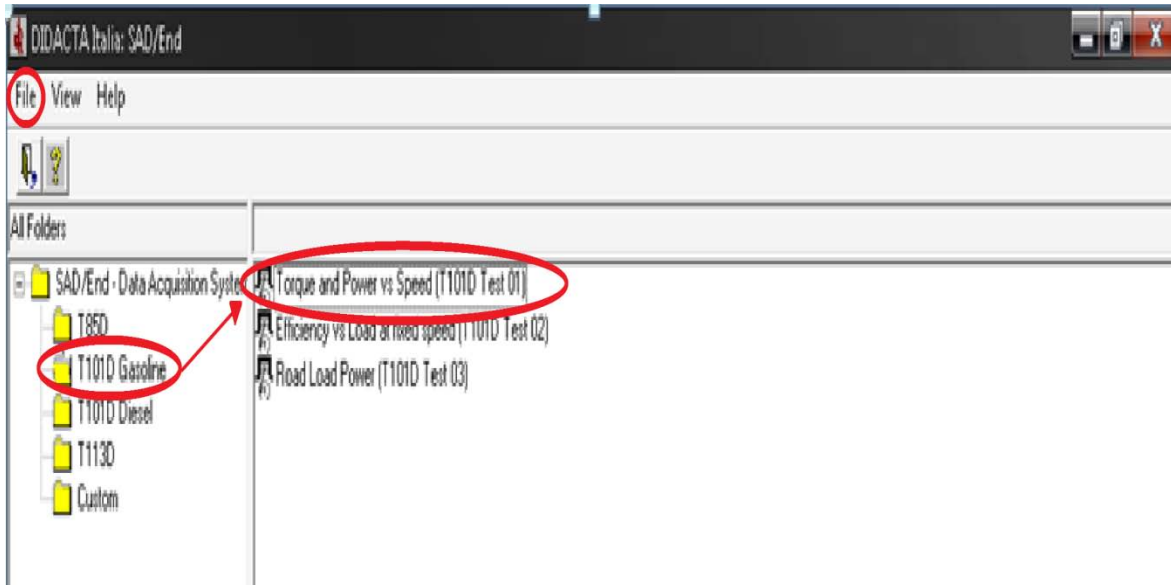


Figura 4. 15 Captura de pantalla programa “SAD-END” (nueva prueba).

3. Abrir un nuevo archivo presionando el botón File, y seleccionar New, para posteriormente elegir Dynamic como se muestra en la figura 4.16.



Figura 4. 16 Captura de pantalla programa “SAD-END” (nuevo archivo).

4. Cambiar los valores en la tabla keyboard values con los valores que se muestran en la figura 4.17.

#	Name	Code	Value	Unit
0	Displacement	V	4621	cm <sup>3</sup>
1	Fuel density	fd	0.735	kg/l
2	Fuel l.heat	H	43953	kJ/kg
3	Stroke	N	4	.
4	Amb.Temp.	Ta	26.0	°C
5	Amb.Press.	Pa	560	mmHg
6	St. A/F	A/Fst	14.6	.

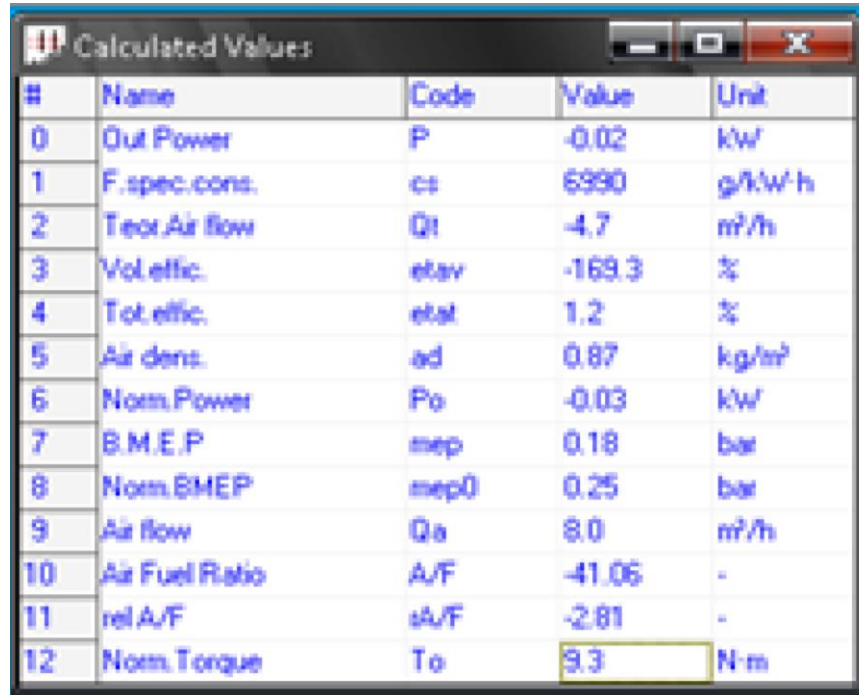
Figura 4. 17 Captura de pantalla programa “SAD-END” (edición de los valores de la tabla keyboard values).

5. A continuación dependiendo del tipo de prueba a realizar, y haber fijado la apertura del acelerador y carga del freno hidráulico, presionar “start” (figura 4.18) para empezar la toma de lecturas del programa.



Figura 4. 18 Captura de pantalla programa “SAD-END” (inicio de toma de lecturas).

6. A continuación se muestran en la pantalla en tiempo real los valores calculados en la tabla calculated values (figura 4.19)



#	Name	Code	Value	Unit
0	Out Power	P	-0.02	kW
1	F.spec.cons.	cs	6990	g/kW-h
2	Teor.Air flow	Q1	-4.7	m³/h
3	Vol.effic.	etav	-169.3	%
4	Tot.effic.	etat	1.2	%
5	Air dens.	ad	0.87	kg/m³
6	Norm.Power	Po	-0.03	kW
7	B.M.E.P	mep	0.18	bar
8	Norm.BMEP	mep0	0.25	bar
9	Air flow	Qa	8.0	m³/h
10	Air Fuel Ratio	A/F	-41.06	-
11	rel A/F	sA/F	-2.81	-
12	Norm.Torque	To	9.3	N-m

Figura 4. 19 Captura de pantalla programa "SAD-END" (ejemplo de valores calculados).

7. Para tomar un valor en un tiempo determinado, parar el programa seleccionando el botón de stop como se muestra en la figura 4.20 en este momento los valores quedarán fijos para hacer la toma de lecturas.

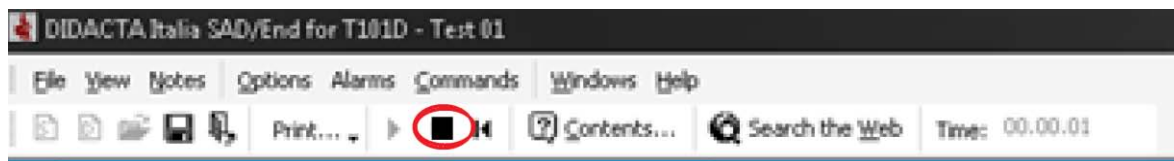


Figura 4. 20 Captura de pantalla programa "SAD-END" (detener el programa).

8. En caso de requerir nuevamente hacer una toma de lecturas, hacer las adecuaciones a la carga y apertura de acelerador dependiendo el tipo de prueba a realizar. Seleccionar el botón reset que se encuentra al lado derecho del botón de stop para nuevamente poder presionar start e iniciar desde el punto 5 de este procedimiento.

### **Procedimiento de paro del equipo de motor de combustión interna del laboratorio de máquinas térmicas**

1. Detener y cerrar los programas SAD-CT y SAD-END.
2. Apagar y desconectar de la alimentación los equipos SAD-CT y SAD-END.
3. Apagar el equipo de cómputo y desconectarlo.
4. Antes de apagar el motor de combustión interna dejarlo trabajar por lo menos 10 minutos para que se estabilice el motor y baje su temperatura.
5. Cerrar las válvulas de suministro de agua del freno hidráulico.
6. Cerrar las válvulas del suministro de combustible.
7. Cerrar la válvula de suministro de la bomba de agua de enfriamiento del laboratorio y apagarla.



## Práctica número 2. Diagrama indicado.

**Objetivo.** Obtener el diagrama indicado, calcular la potencia efectiva ( $P_e$ ), potencia indicada ( $P_i$ ), potencia de fricción ( $P_f$ ) y rendimiento mecánico ( $\eta_m$ ).

### Teoría

En motores endotérmicos, la energía proviene de la combustión de combustibles líquidos y gaseosos. Por lo tanto los motores endotérmicos transforman en trabajo útil, la energía química de los combustibles. Dicho trabajo es realizado por órganos en movimiento alternativo, o que giran en movimiento rotatorio o bien directamente por el empuje producido por la expansión de los gases de combustión.

### Ciclo Otto

La energía generada por el combustible, al quemarse dentro de un cilindro se transmite a un pistón móvil: así se produce trabajo mecánico. En los motores de ciclo Otto, la combustión se inicia mediante el salto de una chispa eléctrica proveniente de una bujía. El de estos motores deben tener capacidad antidetonante (no se enciendan antes de recibir la chispa fenómeno conocido como autoencendido).

### Ciclo operativo del motor de 4 tiempos

El ciclo operativo es la sucesión de operaciones, o fases, que el fluido activo cumple en el cilindro y repite periódicamente.

Los motores alternativos son de cuatro tiempos cuando el ciclo se cumple con 4 carreras de pistón. Esto significa que los motores de 4 tiempos completan un ciclo cada dos revoluciones del cigüeñal. Las 4 fases del ciclo de 4 tiempos son: admisión de la carga al cilindro, compresión de la carga, combustión-expansión y expulsión o escape de los productos de la combustión.

Cada fase corresponde aproximadamente a una carrera de pistón.

- **Admisión.-** El pistón en la carrera hacia el punto muerto inferior crea una aspiración del fluido hacia el cilindro. En la cámara de combustión se abre en el momento oportuno la válvula de aspiración para permitir la entrada del aire o de la mezcla gaseosa de combustible. La válvula comienza a abrirse antes del inicio de la carrera y se cierra después de que la carrera se ha completado.

- **Compresión.-** Cerrada la válvula de admisión, durante la carrera de regreso del pistón la carga es comprimida en la cámara de combustión hasta un valor máximo que alcanza el punto muerto superior. En ese momento el volumen de la carga se ha reducido a una fracción del volumen que tenía al comienzo de la carrera; esta fracción es el valor inverso de la relación volumétrica de presión.
- **Combustión y expansión.-** Poco antes del fin de la carrera de compresión se produce el encendido de la mezcla por una chispa eléctrica, o bien el encendido espontáneo del combustible inyectado en la cámara de combustión. Antes que la carrera de trabajo se haya completado comienza a abrirse la válvula de escape y los gases quemados, que aún están a una cierta presión, comienzan a salir del cilindro.
- **Escape.-** Durante su carrera de regreso hacia el punto muerto superior el pistón expulsa los gases quemados a través de la válvula de escape. Al final de la carrera, o poco después, se vuelve a cerrar la válvula de escape; mientras tanto se ha abierto la de admisión y comienza un nuevo ciclo para continuar repitiéndose regularmente.

### Diagrama indicado y parámetros.

El conocimiento del diagrama indicado es importante, ya que conociendo su área se puede obtener la presión media efectiva (p. m. i.).

Conociendo la p. m. i. y considerando la cilindrada total del motor y el número de carreras útiles en la unidad de tiempo, se obtiene la potencia indicada, es decir la potencia desarrollada en los cilindros. En ésta práctica la potencia indicada se obtiene sumando la potencia media al freno y la potencia absorbida por los rozamientos, la que se mide haciendo girar el motor sin encendido.

Los aparatos indicadores se usan para estudios de laboratorios y para controlar la regularidad del ciclo. Puesto que la forma del ciclo depende del modo en que se desarrollan los procesos que se verifican en el motor, las irregularidades de funcionamiento pueden ser estudiadas examinando el ciclo indicado.

### **Pruebas realizadas.**

Para poder llevar a cabo pruebas en motores de combustión interna y hacer una comparación con los resultados obtenidos, las pruebas se realizan tomando en cuenta 3 parámetros: la apertura del acelerador, la carga y la velocidad. Con dichos parámetros uno debe permanecer constante y los restantes deben de ser variados entre una prueba y otra, para así obtener un parámetro que nos permita hacer un comparativo entre cada una de las pruebas realizadas, como se muestra a continuación:

- **Prueba apertura de acelerador constante, carga de freno y velocidad variable.**

Esta prueba se realiza mediante una apertura definida al carburador y debe de permanecer constante, agregar carga hasta que las revoluciones del motor lleguen a un valor predeterminado, realizar las próximas pruebas para el comparativo, la apertura debe de permanecer igual que en la primer prueba y se le agregara o disminuirá la carga dependiendo al nuevo valor de revoluciones que se quiera comparar con el anterior y así sucesivamente con las pruebas de éste tipo, éste procedimiento se repetirá dependiendo del número de pruebas que se deseen hacer para el comparativo.

- **Prueba carga de freno constante, apertura de acelerador y velocidad variable.**

Esta prueba se realiza añadiéndole determinada carga al motor por medio del freno hidráulico, la apertura del acelerador se le da hasta alcanzar la velocidad requerida, para las siguientes pruebas la carga permanecerá igual como se había manejado en la primer prueba, posteriormente abrir o cerrar la apertura del acelerador hasta alcanzar otra velocidad predeterminada, y así sucesivamente con las pruebas de este tipo, éste procedimiento se repetirá dependiendo del número de pruebas que se deseen hacer para el comparativo.

- **Prueba velocidad constante, apertura de acelerador y carga de freno variable.**

Éste tipo de prueba es distinta a las dos anteriores ya que para conseguir un valor de velocidad, requerimos los otros dos parámetros (carga y apertura de acelerador), de tal manera que la prueba se puede realizar de dos formas distintas, la primera, es darle cierta apertura al acelerador posteriormente agregarle carga hasta llegar a un valor previamente predeterminado de velocidad.

En las siguientes pruebas se varía la apertura del acelerador, después agregar o quitar carga hasta llegar al mismo valor de la velocidad definida en la primera prueba. Para la segunda forma se realiza al igual que en la primera solo que en lugar de variar primero la apertura del acelerador, se debe variar la carga que se le dio al motor ya sea aumentando o disminuyendo, después abrir o cerrar la apertura del acelerador hasta alcanzar la velocidad definida en la primer prueba.

### **Equipo a emplear.**

- Motor de combustión interna, marca VAM (Rambler).
- Freno hidráulico marca Heena & Froude.
- Sistema de adquisición de datos SAD/CT.

### **Procedimiento.**

1. Llevar a cabo el procedimiento de arranque del motor y equipo de pruebas del laboratorio.
2. Llevar a cabo el procedimiento para adquisición de datos programa SAD-CT hasta el punto 6 de dicho procedimiento.
3. Se realizará una prueba apertura de acelerador constante, carga y velocidad variable, al darle una apertura del 50% a la mariposa del carburador y mantenerlo constante.
4. Suministrar carga al freno hidráulico de modo que baje el régimen de revoluciones hasta  $2400 \pm 15$  R.P.M.
5. Continuar con el procedimiento de arranque del equipo SAD-CT.
6. Hacer toma de valores y registrarlos en la tabla de lecturas (tabla 4.10), realizar los cálculos correspondientes y anotar los valores resultantes en la tabla de resultados (tabla 4.11).
7. Realizar nuevamente los procedimientos anteriores hasta haber realizado 6 pruebas partiendo desde el punto 3, pero modificando la carga aplicada al freno hidráulico a modo de bajar  $200 \pm 10$  R.P.M. en cada una de las pruebas hasta llegar a  $1400 \pm 15$  R.P.M.
8. Hacer un comparativo de las seis pruebas realizadas.
9. Al finalizar las pruebas realizar el procedimiento de paro del equipo de motor de combustión interna del laboratorio de máquinas térmicas.

**Desarrollo.**

- **Par de Torsión.**

Es el momento de torsión del cigüeñal y representa la capacidad del motor para producir trabajo.

Tabla 4. 1 Ecuación par de torsión ( $T$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$T = m \cdot g \cdot d$	$T$	Nm	Par de Torsión
	$m$	kg	Valor de la celda de carga en kg
	$g$	$\frac{m}{s^2}$	Gravedad (local)
	$d$	m	Distancia del brazo de palanca igual a: 0.20 m

- **Potencia efectiva.**

Es la unidad de trabajo por unidad de tiempo que el motor entrega a la flecha.

Tabla 4. 2 Ecuación potencia efectiva ( $P_e$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_e = \frac{T \cdot \omega}{1000}$	$P_e$	kw	Potencia efectiva
	$T$	Nm	Par de torsión
	$\omega$	$\frac{rad}{s}$	Velocidad angular $\left(\frac{2\pi \cdot N}{60}\right)$
	N	R.P.M.	Revoluciones por minuto.

- **Presión media efectiva**

La presión media al freno, se define como la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor, para producir una potencia igual a la efectiva. La cual se obtiene de la siguiente manera:

Tabla 4. 3 Ecuación presión media efectiva (p.m.e.).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$p.m.e. = \frac{60 \cdot P_e}{L \cdot A \cdot n \cdot N_e}$	$p.m.e.$	kN/m <sup>2</sup>	Presión media efectiva
	$P_e$	kW	Potencia efectiva
	$A$	m <sup>2</sup>	Área del pistón
	$L$	m	Carrera
	$n$		Número de cilindros
	$N_e$	----	Numero de carreras útiles por minuto ( $N_e = \frac{R.P.M.}{2}$ )

- **Consumo de combustible**

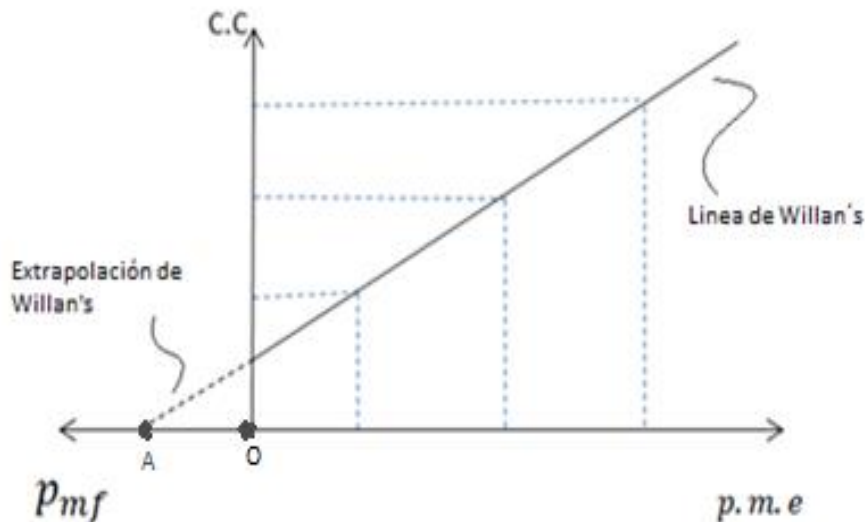
Es el volumen del combustible que el motor requiere por unidad de tiempo para su operación.

Tabla 4. 4 Ecuación consumo de combustible (C. C.).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$C.C. = \frac{V_c \cdot \rho \cdot 3600}{t}$	$C.C.$	kg/h	Par de Torsión
	$V_c$	Lt	Volumen consumido
	$\rho$	$\frac{kg}{Lt}$	Densidad del combustible
	$t$	s	Tiempo de consumo

- **Presión media de fricción**

La presión media de fricción se obtiene a partir de extrapolar la línea de Willan's de la gráfica de consumo de combustible vs presión media efectiva en una prueba de velocidad constante. Para poder obtener una gráfica más exacta se realizarán 6 pruebas para poder obtener 6 puntos, los cuales se deben ajustar una recta con el método de mínimos cuadrados y posteriormente realizar la extrapolación. La distancia entre el punto A y el o (origen) será el valor de la potencia media de fricción.



En la siguiente tabla se anotaran los valores de cada prueba los cuales serán graficados para obtener la línea de Willan's.

Tabla 4. 5 Línea de Willan's.

Prueba	<i>p. m. e.</i> (presión media efectiva)	C.C Consumo de combustible
1		
2		
3		
4		
5		
6		

- **Presión media indicada.**

La presión media indicada se define como la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante una carrera de potencia del motor, para producir una potencia igual a la indicada y se obtiene con la siguiente ecuación:



Tabla 4. 6 Ecuación presión media indicada (*p.m.i.*).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$p.m.i. = p.m.e. + p.m.f.$	$p.m.i.$	kN/m <sup>2</sup>	Presión media indicada
	$p.m.e.$	kN/m <sup>2</sup>	Presión media afectiva
	$p.m.f.$	kN/m <sup>2</sup>	Presión media de fricción

- **Potencia de fricción.**

Una parte de la potencia desarrollada por un motor (potencia indicada) es utilizada para vencer los rozamientos entre las partes mecánicas en movimiento (pistones, cojinetes, etc.), para accionar los diferentes órganos que reciben movimiento del motor, a esta potencia se le conoce como potencia de fricción.

Tabla 4. 7 Ecuación potencia de fricción ( $P_f$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_f = \frac{p.m.f. \cdot L \cdot A \cdot n}{60} \cdot \frac{N}{x}$	$P_f$	kW	Potencia fricción
	$p.m.f.$	kN/m <sup>2</sup>	Presión media de fricción
	L	m	Carrera
	A	m <sup>2</sup>	Área del pistón
	n	----	Número de cilindros
	N	R.P.M.	Revoluciones por minuto.
	x	----	Numero de revoluciones necesarias para cada carrera de potencia producida por el pistón. 2 para un motor de 4 tiempos.

- **Potencia indicada.**

Es la potencia que realmente se desarrolla en el interior del cilindro por la combustión.

Tabla 4. 8 Ecuación potencia indicada ( $P_i$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_i = P_e + P_f$	$P_i$	KW	Potencia indicada
	$P_e$	KW	Potencia efectiva
	$P_f$	KW	Potencia de fricción

### Rendimiento mecánico

Tabla 4. 9 Ecuación rendimiento mecánico ( $\eta_m$ ).

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} \times 100$	$\eta_m$	-----	Rendimiento mecánico
	$p_e$	kw	Potencia efectiva
	$p_i$	kw	Potencia indicada

### Tabla de Lecturas

Tabla 4. 10 Lecturas.

Nombre	Símbolo	Unidades	PRUEBAS					
			1	2	3	4	5	6
Torque	T	Nm						
Velocidad angular	$\omega$	$\frac{rad}{s}$						
Revoluciones por minuto	N	R.P.M.	2400	2200	2000	1800	1600	1400
Área del pistón	A	$m^2$	$7.7459 \cdot 10^{-3}$	$7.7459 \cdot 10^{-3}$	$7.7459 \cdot 10^{-3}$	$7.7459 \cdot 10^{-3}$	$7.7459 \cdot 10^{-3}$	$7.7459 \cdot 10^{-3}$
Carrera	L	m	0.09893	0.09893	0.09893	0.09893	0.09893	0.09893
Numero de cilindros	n	----	6	6	6	6	6	6
Numero de carreras útiles por minuto	$N_e$	$\frac{R.P.M.}{2}$	1200	1100	1000	900	800	700
Volumen de combustible	Vc	Lt						
Densidad del combustible	$\rho$	Kg/Lt						
Tiempo	t	s						

**Tabla de resultados**

Tabla 4. 11 Resultados.

Nombre	Variables	Unidades	PRUEBAS					
			1	2	3	4	5	6
Torque	$T$	Nm						
Potencia efectiva	$P_e$	kw						
Presión media efectiva	$p.m.e.$	$kN/m^2$						
Consumo de combustible	$C \cdot C.$	kg/h						
Presión media de fricción	$p.m.f.$	$kN/m^2$						
Presión media indicada	$p.m.i.$	$kN/m^2$						
Potencia de fricción	$P_f$	kw						
Potencia indicada	$p_i$	kw						
Rendimiento mecánico	$\eta_m$	-----						

### Práctica número 3. Parámetros del motor de combustión interna

#### Objetivo

Obtener los parámetros requeridos para el análisis del motor de combustión interna y obtener las curvas características.

#### Teoría básica

Para obtener un punto de referencia de las condiciones actuales de operación, identificar las áreas con trabajo aceptable o anormal, determinar los procedimientos y actividades técnicas a aplicar, se recurre al valor de rendimiento o eficiencia que alcanza el motor en estudio. El término rendimiento, es un valor adimensional en porcentaje que se determina para indicar la óptima operación que produce el motor con relación a los diferentes recursos invertidos en el funcionamiento.

- Rendimiento térmico. El rendimiento térmico se expresa como la relación entre el trabajo útil producido por un motor y la energía calorífica total del combustible después de su combustión, estando ambos expresados en las mismas unidades, ya sea caloríficas o de trabajo mecánico. Suponiendo que dos motores diferentes consumen la misma cantidad de combustible, pero uno de ellos entrega más HP que el otro. Bajo estas condiciones el rendimiento del primero es mayor que el del otro. Generalizando, se puede decir que la potencia de un motor depende de la capacidad del mismo para aprovechar al máximo el calor generado en él. El motor con mayor rendimiento térmico consume también menos combustible para realizar una determinada cantidad de trabajo, por lo tanto es más económico ya que aprovecha al máximo el poder calorífico del combustible. El rendimiento térmico promedio de los motores de combustión es aproximadamente del 25% con el acelerador abierto al máximo; es decir que a su velocidad máxima, sólo convierte en trabajo mecánico útil el 25 % del total del calor entregado por el combustible.
- Rendimiento Volumétrico. Como el tiempo de admisión es demasiado breve, los gases de mezcla fresca dentro del cilindro nunca alcanzan el valor de la presión atmosférica. Comparando dos motores iguales, el que sea capaz de llenar en mejor forma sus cilindros será el más eficiente.

### Equipo a emplear.

- Motor de combustión interna, marca VAM (Rambler).
- Freno hidráulico marca Heena & Froude.
- Sistema de adquisición de datos SAD/END.

### Procedimiento.

1. Llevar a cabo el procedimiento de arranque del motor y equipo de pruebas del laboratorio.
2. Llevar a cabo el Procedimiento para adquisición de datos programa SAD-END hasta el punto 4.
3. Realizar una prueba de carga constante, partir de la posición inicial del volante del freno hidráulico, girar 12 veces en sentido horario para agregar carga.
4. Dar apertura al acelerador hasta tener un régimen de revoluciones de  $800 \pm 15$  R.P.M.
5. Continuar con el procedimiento de arranque del equipo SAD-END.
6. Hacer toma de valores y registrarlos en la tabla de lecturas (tabla 4.21), realizar las operaciones correspondientes y escribir los valores resultantes en la tabla de resultados (tabla 4.22).
7. Repetir los pasos anteriores partiendo desde el punto 4, pero aumentando la apertura del acelerador a modo de aumentar el régimen de revoluciones  $200 \pm 10$  R.P.M. en cada una de las pruebas hasta llegar a  $1800 \pm 15$  R.P.M.
8. Realizar las curvas características ( $C \cdot C$ . vs R.P.M.), ( $C_{eS}$  vs R.P.M.), ( $E_s$  vs R.P.M.), ( $P_e$  vs R.P.M.), ( $\eta_{tf}$  vs R.P.M.), ( $\eta_v$  vs R.P.M.).
9. Al finalizar las pruebas realizar el procedimiento de paro del equipo de motor de combustión interna del laboratorio de máquinas térmicas.

### Consumo de combustible

Es el volumen del combustible que el motor requiere por unidad de tiempo para su operación.

Tabla 4.12 Ecuación de consumo de combustible

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$C \cdot C = \frac{V_c \cdot \rho \cdot 3600}{t}$	$C \cdot C$	$kg/h$	Consumo de combustible
	$V_c$	$lt$	Volumen consumido
	$\rho$	$\frac{kg}{lt}$	Densidad del combustible
	$t$	$s$	Tiempo de consumo

### Potencia efectiva.

Es la unidad de trabajo por unidad de tiempo que el motor entrega a la flecha.

Tabla 4.13 Ecuación de Potencia efectiva

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$P_e = \frac{T \cdot \omega}{1000}$	$P_e$	$kw$	Potencia efectiva
	$T$	$Nm$	Par de torsión
	$\omega$	$\frac{rad}{s}$	Velocidad angular $\left(\frac{2\pi \cdot N}{60}\right)$
	$N$	$R.P.M.$	Revoluciones por minuto.

### Consumo específico de combustible.

Es el parámetro que muestra con que eficiencia el motor convierte el combustible en trabajo efectivo.

Tabla 4.14 Ecuación de consumo específico de combustible

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$C_{ec} = \frac{c \cdot c}{P_e}$	$C_{ec}$	$kg/kW hr$	Consumo específico de combustible
	$c \cdot c$	$kg/hr$	Consumo de combustible
	$P_e$	$kW$	Potencia efectiva

## Energía suministrada

Es la energía suministrada al motor por medio del combustible.

Tabla 4. 15 Ecuación de energía suministrada

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$E_s = \frac{(C \cdot C)(P.C.I)(4.186)}{3600}$	$E_s$	$kW$	Energía suministrada
	$P.C.I$	$kcal/kg$	Poder calorífico inferior
	$C \cdot C$	$kg/h$	Consumo de combustible

## Rendimiento Térmico al freno

Es la razón entre el trabajo útil en el eje del motor y el equivalente a la energía térmica del combustible consumido.

Tabla 4. 16 Ecuación de rendimiento térmico al freno

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$\eta_{TF} = \frac{P_e}{E_s} \times 100$	$\eta_{TF}$	—	Rendimiento térmico al freno
	$P_e$	$kW$	Potencia efectiva
	$E_s$	$kW$	Energía suministrada



### Flujo másico del aire

Es la cantidad de aire introducida al motor por unidad de tiempo.

Tabla 4. 17 Ecuación de flujo másico del aire

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$\dot{m}_a = 0.00001232 D^2 \sqrt{\frac{h_0 P_a}{T_a}}$	$\dot{m}_a$	kg/s	Flujo másico del aire
	$h_0$	cm	Columna de agua del manómetro
	$P_a$	kN/m <sup>2</sup>	Presión atmosférica
	$D^2$	mm	Diámetro de la placa de orificio igual a: 50mm
	$T_a$	°K	Temperatura el aire a la entrada del carburador

### Relación aire combustible

Es la razón entre la masa del aire y la masa del combustible.

Tabla 4. 18 Ecuación de relación aire combustible

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$R_{a/c} = \frac{\dot{m}_a}{c.c. \cdot \frac{1}{3600}}$	$R_{a/c}$	—	Relación aire-combustible
	$\dot{m}_a$	kg/s	Flujo másico del aire
	$C.C.$	kg/h	Consumo de combustible (Flujo másico del combustible)

## Rendimiento Volumétrico

Es la razón entre la masa efectiva de aire introducida al motor por unidad de tiempo y la masa del aire que teóricamente debe ser introducida al motor en el mismo tiempo

Tabla 4. 19 Ecuación de rendimiento volumétrico

Ecuación	Símbolo	Unidad	Descripción
$\eta_v = \frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_t} \times 100$	$\eta_v$	—	Rendimiento Volumétrico
	$\dot{m}_r$	kg/s	Masa real del aire introducida por unidad de tiempo
	$\dot{m}_t$	kg/s	Masa teórica del aire introducida por unidad de tiempo a condiciones atmosféricas de 278°K y 1.03 bar

### Tabla de Lecturas

Tabla 4.20 Lecturas

Nombre	Símbolo	Unidades	Pruebas					
			1	2	3	4	5	6
Torque	T	Nm						
Velocidad angular	$\omega$	rad/s						
Revoluciones por minuto	R.P.M	----	800	1000	1200	1400	1600	1800
Volumen del combustible	V <sub>c</sub>	ml						
Densidad del combustible	$\rho$	Kg/l	0.735	0.735	0.735	0.735	0.735	0.735
Tiempo	t	s						
Poder calorífico inferior del combustible	P.C.I	kcal/kg	10500	10500	10500	10500	105000	10500
Columna de agua del manómetro	$h_0$	cm						
Presión atmosférica	$P_a$	kN/m <sup>2</sup>						
Diámetro e la placa de orificio	D	mm	50	50	50	50	50	50
Temperatura ambiente	$T_a$	°K						

### Tabla de resultados

Tabla 4. 21 Resultados

Nombre	Símbolo	Unidades	Pruebas					
			1	2	3	4	5	6
Energía suministrada	$E_s$	<i>kW</i>						
Rendimiento térmico al freno	$\eta_{TF}$	_____						
Flujo másico del aire	$\dot{m}_a$	<i>kg/s</i>						
Relación aire combustible	$R_{a/c}$	_____						
Rendimiento volumétrico	$\eta_v$	_____						
Potencia efectiva	$P_e$	<i>kw</i>						
Consumo de combustible	$C \cdot C.$	<i>kg/h</i>						
Consumo específico de combustible	$C_{ec}$	<i>kg/kW h</i>						

## Conclusión

A lo largo de este trabajo se dieron a conocer aspectos importantes acerca de los motores de combustión interna, logrando el desarrollo de algunas prácticas de laboratorio acerca de las principales pruebas a las cuales son sometidos, dichas prácticas fueron realizadas para ampliar la oferta educativa en laboratorio de Térmica y Fluidos de la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Se lograron desarrollar 3 prácticas en cuanto a lo que al motor de combustión interna se refiere, considerando que son las requeridas para que los alumnos de las carreras de ingeniería principalmente de Ingeniería Mecánica obtengan el conocimiento esencial acerca de dichos motores para obtener los cálculos necesarios como son: eficiencias, potencias, consumos, etc. Teniendo así una experiencia práctica con la cual complementen sus asignaturas teóricas.

Por otra parte es importante señalar que el equipo antes mencionado no presenta limitantes, teniendo la posibilidad de hacer los ajustes necesarios para poder operar con otro tipo de combustible, motor y cilindrada; y llevar a cabo las prácticas de laboratorio de forma idéntica. Dejando abierta la posibilidad para que puedan continuar con el estudio de los motores de combustión interna y de igual forma se pueda enriquecer el conocimiento de los usuarios de este laboratorio.

## Bibliografía

Carreras P. Ramón, 1993, Motores de combustión interna fundamentos

Giacosa Dante, 1988, Motores endotérmicos

Ruiz Rosales Santiago, 2005, Prácticas de motores de combustión

David Asensio Bueno CAPÍTULO 1: MOTOR TÉRMICO PDF 20/11/2014

<http://www.ciencianet.com>, 03/Oct/14.

<http://www.combustibles.org>, 09/Oct/14.

<http://www.iae.org.ar/archivos/educ1204.pdf>, 09/Oct/14.

<http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/distribucion.pdf>, 17/Oct/2014.

<http://raulalegre.blogspot.mx/2009/01/trabajos-de-curso-de-cmputo-prof-ral.html>, 20/Oct/2014.

<http://www.aficionadosalamecanica.com/refrigeracion-motor.htm> 09/03/15.

<https://prezi.com/tqggwctzimw0/motores-de-combustion-interna/>, 06/Nov/14

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5844/2/114254.pdf>