



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

**IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA, EVALUADO POR UN  
DINAMÓMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA, DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**José Andrés Marroquín Nataréno**

Asesorado por el Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres

Guatemala, agosto de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA, EVALUADO POR UN  
DINAMÓMETRO, EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JOSÉ ANDRÉS MARROQUÍN NATARÉNO**

ASESORADO POR EL ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLINDRES  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA EVALUADO POR UN  
DINAMÓMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 3 de agosto de 2005.

  
José Andrés Marroquín Nataréno

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Brán
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Cámpo Paiz
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Guatemala, 1 de Agosto de 2008

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Supervisor  
Departamento de E.P.S.  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Sarceño:

Me dirijo a usted con relación al informe de E.P.S. presentado por el estudiante universitario José Andrés Marroquín Nataréno, titulado: "IMPLEMENTACION, HABILITACION Y DISEÑO DE PRACTICAS DE LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA, EVALUADO POR UN DINAMOMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" para el cual acepte en nombramiento de asesor.

Tengo la satisfacción de informarle que en esta fecha ha terminado la asesoría de dicho trabajo de graduación, y después de las revisiones necesarias considero que el mismo esta apto para su trámite final, en consecuencia me permito aprobar dicho trabajo de graduación, para los efectos de graduación de su autor.

Sin otro particular, me es grato suscribirme ante usted.

Atentamente,



Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado 5641  
**Ing. Byron Palacios**  
Colegiado No. 5641



Guatemala, 13 de mayo de 2009  
REF.EPS.DOC.706.05.09.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Andrés Marroquín Natareno** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **9712097**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA EVALUADO POR UN DINAMÓMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda  
Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
EESZ/ra





Guatemala, 13 de mayo de 2009  
REF.EPS.D.285.05.09

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:


Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA EVALUADO POR UN DINAMÓMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **José Andrés Marroquín Natareno** quien fue debidamente asesorado por el Ing. Byron Geovanni Palacios Colindres y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todas"*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación titulado IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA, EVALUADO POR UN DINAMÓMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, del estudiante José Andrés Marroquín Natareno, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

**Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR**



Guatemala, mayo de 2009

JCCP/behdei





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN, HABILITACIÓN Y DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE UN MOTOR DE GASOLINA, EVALUADO POR UN DINAMÓMETRO EN EL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario José Andrés Marroquín Nataréno, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, agosto de 2009

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS**

Por haberme concedido la oportunidad de vivir , la salud, el entendimiento y haberme guiado, animado e iluminado.

### **MI MADRE**

Fidelia Natareno Arévalo, por haberme traído al mundo y establecer principios en mi vida. Dios te bendiga.

### **MI PADRE**

Julio Andrés Marroquín Carillo, por haberme enseñado la senda del trabajo, la honradez y la responsabilidad.

### **MI HERMANA**

Verónica Margoth. Por haberme ayudado y apoyado desde la infancia el inicio de mi carrera académica.

### **MI NOVIA**

Irma Amparo Toledo, por brindarme su apoyo incondicional, y estar a mi lado en las buenas y en las malas a lo largo del recorrido de mi carrera. Gracias por alojarme en tu corazón.

## **AGRADECIMIENTO A:**

### **MI ASESOR**

Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres, por cambiar rotundamente el rumbo de mi vida con sus sabios consejos, y por brindarme su apoyo incondicional. Una gran persona.

### **MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**

En especial a Andrés Monzón, Jonatan Ixcot, Iván Mendoza, por haber compartido todos estos años y por ayudarme en todo momento.

### **MI FACULTAD**

Ingeniería, que me enseñó a ser perseverante, en donde viví tantas experiencias, templó mi carácter y quien debo tantos triunfos y fracasos, me forjó como profesional.

### **USTED**

Apreciable amigo, por compartir conmigo este triunfo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XXXVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XLI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XLIII</b>

<b>1. FASE DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
Generalidades	1
1.1.1 Descripción del laboratorio de motores de combustión interna	1
1.1.2 Descripción de las diferentes áreas del laboratorio	2
1.1.3 Descripción de la finalidad del laboratorio	3
1.1.4 Proyección del laboratorio	4
1.1.4.1 Misión y visión	5
1.1.4.2 Organización interna del Laboratorio	5
Estudio de Prácticas de Laboratorio	5
1.2.1 Adecuación de prácticas al laboratorio	5
1.2.1.1 Prácticas de par de rotación	6
1.2.1.1.1 Prácticas con acelerador totalmente abierto	7
1.2.1.1.2 Prácticas con apertura variable	7
1.2.1.2 Prácticas de medición de consumo de combustible	8
1.2.1.2.1 Prácticas con gasolina de 87 octanos	9
1.2.1.2.2 Prácticas con gasolina de 95 octanos	10
1.2.1.3 Prácticas de medición de consumo de aire	10
1.2.2 Campo de aplicación de las prácticas de laboratorio	11
1.2.3 Desarrollo de las prácticas de laboratorio	14

<b>2. FASE TÉCNICO – PROFESIONAL</b>	<b>15</b>
2.1 Historia de los motores	15
2.2 Medidas de seguridad para los motores de combustión interna	17
2.2.1 Almacenamiento y manejo de gasolina	19
2.2.2 Tipos de incendios y extinguidores	20
2.2.3 El monóxido de carbono y sus efectos	25
2.3 Conceptos básicos	27
2.3.1 Trabajo	27
2.3.2 Potencia	29
2.3.3 Energía	33
2.3.3.1 Energía cinética	34
2.3.3.2 Energía potencial	35
2.3.4 Par motor	35
2.3.5 Caballo de fuerza	40
2.4 Operación de motores de gasolina	41
2.4.1 Principios de operación del motor de gasolina	45
2.4.1.1 El ciclo de Otto	47
2.4.1.1.1 Primer tiempo: la admisión	48
2.4.1.1.2 Segundo tiempo: la compresión	50
2.4.1.1.3 Tercer tiempo: la fuerza	51
2.4.1.1.4 Cuarto Tiempo: el escape	52
2.4.1.2 Ciclo de Otto teórico	53
2.4.1.3 Combustibles para motores de combustión interna	56
2.4.1.3.1 Naftas	56
2.4.1.3.2 Gasolinas	57
2.4.1.3.3 Número de octanos	58
2.4.1.3.4 Propiedades de la gasolina	59
2.4.1.3.4.1 Octanaje	59
2.4.1.3.4.2 Curva de destilación	59

2.4.1.3.4.3	Volatilidad	59
2.4.1.3.4.4	Contenido de azufre	60
2.4.1.3.5	Contaminación de la gasolina	60
2.4.1.4	Principio de la carburación	61
2.4.1.4.1	Misión del sistema de carburación	63
2.4.1.4.2	Colector de admisión	64
2.4.1.4.3	Relación aire/carburante	65
2.4.2	Sistema de encendido del motor de gasolina	68
2.4.2.1	Magnetos	70
2.4.2.2	Funcionamiento de un sistema de encendido por magneto	70
2.4.2.3	Bujías de encendido	72
2.4.2.3.1	Índice térmico	
2.4.3	Desplazamiento volumétrico	75
2.4.4	Relación de compresión	77
2.4.5	Operación del motor didáctico	80
2.5	Operación básica del Dinamómetro	90
2.5.1	Descripción de indicadores y controles	90
2.5.2	Operación de la unidad	92
2.5.3	Medición de velocidad	98
2.5.4	Medición de par de rotación	99
2.5.5	Cálculo de potencia en base a los datos obtenidos	100
2.6	Prácticas de Laboratorio en el motor didáctico	101
2.6.1	Par de rotación y velocidad con acelerador totalmente abierto	101
2.6.1.1	Gráfica de par de rotación y potencia	101
2.6.1.2	Variación de carta y velocidad mientras el acelerador permanece totalmente abierto	103
2.6.1.3	Cálculo de potencia y trazo de curvas	105

2.6.2	Par de rotación a velocidad constante y apertura variable del acelerador	106
2.6.2.1	Operación del motor con incremento de 10% en la apertura del acelerador	110
2.6.3	Medición del consumo de combustible	113
2.6.3.1	Descripción de medidor de flujo de combustible	115
2.6.3.2	Conexión y operación del aparato	117
2.6.3.3	Empleo del medidor de flujo de aire para medir el consumo del mismo	119
2.6.4	Medición del consumo de aire	122
2.6.4.1	Descripción del medidor de flujo de aire	122
2.6.4.2	Conexión y operación de este aparato	124
2.6.4.3	Empleo del medidor de flujo de aire para medir el consumo de éste.	127
2.6.5	Medición del par de rotación, consumo de aire y consumo de combustible con acelerador totalmente abierto y velocidad variable	132
2.6.5.1	Cálculo de potencia	133
2.6.5.2	Relación de aire a combustible	133
2.6.5.3	Presión media efectiva al freno	134
2.6.5.4	Consumo específico de combustible	136
2.6.5.5	Eficiencia térmica	138
2.6.5.6	Eficiencia volumétrica	139
2.6.5.7	Trazo de gráficas de funcionamiento	140
2.6.6	Par de rotación, consumo de aire y combustible a velocidad constante y apertura variable del acelerador	150
2.6.6.1	Cálculo de potencia	152
2.6.6.2	Relación de aire a combustible	153
2.6.6.3	Presión media efectiva al freno	154

2.6.6.4 Consumo específico de combustible	154
2.6.6.5 Eficiencia térmica	155
2.6.6.6 Eficiencia volumétrica	155
2.6.6.7 Trazo de gráficas de funcionamiento	156
2.6.7 Par de rotación con distintos tipos de combustibles	161
2.6.7.1 Medición de par de rotación utilizando gasolina de 84 octanos	163
2.6.7.2 Medición de par de rotación utilizando gasolina de 95 octanos	165
2.6.8 Par de rotación bajo distintos grados de temperatura	167
2.6.8.1 Medición de par de rotación con el motor frío	170
2.6.8.2 Medición de par de rotación con el motor a temperatura normal de funcionamiento.	109
2.6.9 Par de rotación utilizando distintos tipos de bujías	172
2.6.9.1 Medición de par utilizando una bujía correcta	173
2.6.9.2 Medición de par utilizando una bujía incorrecta	175
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>177</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>179</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>183</b>





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Equipo de protección personal	18
2	El triángulo del fuego	21
3	Par motor	37
4	Efecto de la palanca en el torque	40
5	Componentes básicos del motor de combustión interna	42
6	Los cuatro tiempos del motor de combustión interna	48
7	Tiempo de admisión	48
8	Tiempo de compresión	50
9	Tiempo de fuerza	51
10	Tiempo de escape	52
11	Ciclo Otto	53
12	Diagrama presión volumen del ciclo Otto	55
13	Torre de destilación	56
14	Carburador de venturi fijo	62
15	Carburador de venturi variable	63
16	Esquema de un sistema de encendido convencional	71
17	Visualización de una bujía de encendido	73
18	Disipación de calor en una bujía de encendido	75
19	Volumen desplazado por el cilindro	76
20	Desplazamiento volumétrico y carrera del pistón	77
21	Relación de compresión de motores Diesel y Gasolina	78
22	Vista del motor didáctico y el dinamómetro	83
23	Unidad de absorción de potencia	93
24	Unidad de absorción de potencia y forma de medición	94
25	Circulación del agua en la unidad	95

26	Celda de carga para medición de fuerza	97
27	Gráfica velocidad versus potencia y par de rotación	102
28	Gráfica par de rotación y potencia versus r.p.m.	105
29	Gráfica de par de rotación versus porcentaje de apertura	112
30	Rotámetro	116
31	Curvas de flujo de combustible para el rotámetro	121
32	Equipo medidor de flujo de aire	123
33	Conexión del adaptador de la toma de aire	125
34	Medidor de vacío	126
35	Diagrama de las boquillas medidoras de flujo	130
36	Gráfica de par de rotación (lb.-pie)	146
37	Gráfica de potencia (HP)	146
38	Gráfica de relación de aire a combustible	147
39	Gráfica de consumo específico de combustible	147
40	Gráfica de eficiencia volumétrica	148
41	Eficiencia térmica	148
42	Gráfica de par de rotación	157
43	Gráfica de potencia (HP)	157
44	Gráfica de relación de aire a combustible	158
45	Gráfica de consumo específico de combustible	158
46	Gráfica de eficiencia volumétrica	159
47	Eficiencia térmica	159
48	Gráfica de par y potencia utilizando gasolina regular de 87 octanos	165
49	Gráfica de par y potencia utilizando gasolina súper de 95 octanos	166
50	Gráfica de par de rotación y potencia con el motor frío	170
51	Gráfica de par de rotación y potencia con el motor a temperatura normal	171

52	Gráfica de par de rotación y potencia utilizando bujía RJ19 LM Champion	175
53	Gráfica de par de rotación y potencia utilizando una bujía incorrecta	176

## TABLAS

I	Clasificación de los extintores según el agente extinguidor y tipo de fuego.	23
II	Resultados de variación de carga y velocidad con acelerador totalmente abierto.	104
III	Resultados de variación de par y potencia con apertura variable del acelerador.	111
IV	Intervalos de potencia y flujo para cada bola del rotámetro.	116
V	Equivalencias de capacidad.	119
VI	Tamaños de boquillas según potencia teórica.	124
VII	Desplazamiento de motores similares.	136
VIII	Resultados de medición según revoluciones variables.	145
IX	Resultados de par y potencia a apertura variable.	152
X	Lectura del manómetro en plg. H <sub>2</sub> O	153
XI	Lectura del rotámetro	153
XII	Relación de combustible.	154
XIII	Presión media efectiva al freno.	154
XIV	Consumo específico de combustible.	155
XV	Eficiencia térmica.	155
XVI	Eficiencia volumétrica.	156
XVII	Cuadro de resumen de datos	156
XVIII	Resultados de par y potencia con gasolina regular.	164
XIX	Resultados de par y potencia con gasolina super.	165
XX	Resultados de par y potencia con el motor frío.	169
XXI	Resultados de par y potencia con el motor a temperatura normal.	171

XXII	Resultados de par y potencia para una bujía correcta.	174
XXIII	Resultados de par y potencia para una bujía incorrecta.	176

## GLOSARIO

**ADITIVO (*ADDITIVE*):**

Sustancia que se añade a otra, como por ejemplo al aceite lubricante para motor, a fin de impartirle ciertas propiedades. Por ejemplo, un cierto producto químico puede ser adicionado a un lubricante para reducir su tendencia a la congelación por baja temperatura.

**AIRE (*AIR*):**

Mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre y contiene aproximadamente 79 % de nitrógeno, 20 % de oxígeno y 1 % de otros gases.

**FILTRO DE AIRE (*AIR CLEANER*):**

Dispositivo para separar partículas sólidas de una corriente de aire, como la entrada a un carburador, a una cámara de combustión o a un compresor.

**RELACIÓN DE AIRE A  
COMBUSTIBLE (*AIR FUEL RATIO*):**

Relación o razón del peso del aire al peso del combustible en una mezcla de estos materiales.

**ENTREHIERRO (*AIR GAP*):**

Espacio que separa dos partes, tales como los electrodos de una bujía de encendido o el estator y el rotor de una máquina eléctrica.

**ACUMULACIÓN DE AIRE (*AIR LOCK*)**

En un circuito o sistema de conducción de un líquido, masa de aire atrapada que interfiere con la circulación normal de aquél.

**COJINETE ANTIFRICCIÓN (*ANTI-FRICTION BEARING*):**

Cojinete de bolas o rodillos que permite que haya efecto de rodamiento en vez de deslizamiento.

**INDUCIDO O ARMADURA (*ARMATURE*):**

Parte de una máquina eléctrica que contiene o aloja su devanado principal.

**PRESIÓN ATMOSFÉRICA (*ATMOSPHERIC PRESSURE*)**

Presión ejercida por el peso del aire de la atmósfera. Se mide generalmente en kilogramos por centímetro cuadrado, o bien, en libras por pulgada cuadrada. Al nivel del mar vale 1.033 ) g / cm<sup>2</sup>, o bien, 14.7 lb/plg<sup>2</sup> (= psi). Por arriba de este nivel, hay una menor altura de aire presionando hacia abajo, la presión atmosférica es menor.

**ENCENDIDO IRREGULAR (*BACK-FIRE*):**

Encendido de la mezcla de aire y combustible en el múltiple de admisión, probablemente a causa de fugas en una válvula de admisión. (El "back-fire") puede ocurrir también cuando hay paso de combustible al múltiple de escape y se enciende aquél.)

**JUEGO (*BACKLASH*)**

Movimiento libre excesivo entre dos piezas que están conectadas. Cuando se aplica a un

	engranaje se refiere al ángulo en que se desplaza un engrane (el impulso) sin transmitir movimiento al otro ( el impulsado).
<b>CONTRAPRESIÓN (BACK-PRESSURE):</b>	Presión que se opone al movimiento de un fluido, como en el caso de la salida de los gases de escape por el sistema respectivo.
<b>COJINETE DE BOLAS (BALL BEARING):</b>	Cojinete antifricción formado por dos aros concéntricos o pistas de acero templado, separados por bolas del mismo metal.
<b>PMI = PUNTO MUERTO INFERIOR (BDC = BOTTOM DEAD CENTER):</b>	Límite inferior del movimiento de un pistón en el interior de su cilindro.
<b>COJINETE (BEARING):</b>	Pieza que sirve de apoyo a un eje, muñón, pivote u otro elemento giratorio.
<b>PF = POTENCIA AL FRENO (O EFECTIVA) (BHP = BRAKE HORSEPOWER):</b>	Valor de la potencia realmente entregada por el eje principal de un motor. Se determina por medio de un dinamómetro.
<b>FUGAS DEL CILINDRO (BLOW-BY):</b>	Pérdida de compresión debida a fuga de gases por los anillos de un pistón.
<b>DIÁMETRO DEL CILINDRO (BORE):</b>	Diámetro interior del cilindro; corresponde al “calibre del pistón”. Su medida designa a



**PMEF = PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO (*BMEP = BRAKE MEAN EFFECTIVE PRESSURE*):**

veces al propio cilindro.

Valor de la presión media efectiva (PME) determinado a partir de la potencia al freno. La PME es la presión ficticia que si actuara sobre el émbolo durante la carrera de impulso, produciría el trabajo neto del ciclo de operación (el total menos las pérdidas por fricción).

**BRAZO DEL RUPTOR (*BREAKER ARM*):**

Brazo móvil en el que se fija uno de los contactos del ruptor del distribuidor.

**LEVA DEL RUPTOR (*BREAKER CAM*):**

Leva de forma lobulada en el distribuidor, que a medida que gira abre y cierra el ruptor.

**CONTACTOS DEL RUPTOR (*BREAKER POINTS*):**

Par de contactos metálicos móviles que abren y cierran el circuito primario del encendido o ignición.

**UNIDAD TÉRMICA BRITÁNICA (*BTU=BRITISH THERMAL UNIT*):**

Cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 libra de agua en 1 grado fahrenheit a la presión de 1 atmósfera (=14.7 lb/plg<sup>2</sup>).

**DERIVACIÓN O DESVIACIÓN (*BY-PASS*):**

Vía por donde puede derivarse una corriente de fluido (líquido o gas) para desviarla de un elemento después de lo cual vuelve al conducto principal. Camino alternativo para

**HELAMIENTO DEL CARBURADOR  
(CARBURATOR ICEING):**

una corriente de fluido.

Formación de hielo en la placa del acelerador  
Cantidad de evaporación estable con un nivel de  
temperatura de 10 grados centígrados (de grado  
100 grados de presión 50 lb y de atmósfera =  
(6693 kg/cm<sup>2</sup>)).

**CELSIUS (CELSIUS):**

Término que designa el sistema y la unidad  
Ángulo de un eje en la grad de temperatura es en el  
cuanto, el estado del congelación de la glicerina 0 los  
son partes de la escala 100°. Este se puede se  
prefiere al de centígrado.

**ÁNGULO DE LA LEVA (CAM  
ANGLE):**

**CENTRO DE GRAVEDAD (CENTER  
(GRAVITY)):**

El punto de la espina que abre y que puede  
válvulas de un que está en el centro de la  
Si un eje imaginario atravesara dicho cuerpo  
por su centro de gravedad, el cuerpo se  
Depositaría de equilibrio respecto al eje,  
duro (o suave), que se forma en la cámara de  
También se abre en el lado de la válvula,  
del cual. Cabezas de cilindro, corona y anillo  
de pistón.

**CARBÓN (CARBON):**

**CENTÍGRADO (A) (CENTIGRADE):**

Fuerza que se supone actúan sobre un  
Es un dispositivo de eje de un lado de la  
cámara de rotación sobre la superficie  
a la fuerza centrípeta.

**FUERZA CENTRÍFUGA**

**(CENTRIFUGAL FORCE) (FORCE):**

Dispositivo que sirve para mezclar aire y

**NÚMERO DE ROTACIONES (ROTATION  
NUMBER):**

Un número en la escala de temperatura que se  
de puede decir en la mezcla de Diesel. Se llama

**CÁMARA DE COMBUSTIÓN  
(COMBUSTION CHAMBER):**  
**AHOGADOR (CHOKE):**

mayor sea el índice o número de cetano, Espor ser a la temperatura hay en el cilindro y que está limitado por la cabeza o Válvula del pistón. La superficie interior del cilindro restringe la cantidad de aire que entra al motor, se aboga en la fase del arranque y se produce. así el enriquecimiento de la mezcla para el arranque de un motor frío.

**COMPUESTO (COMPOUND):**  
**HOLGURA (CLEARANCE):**

Combinación de dos o más elementos Espacios libres entre las piezas más importantes. casan una dentro de otra. Por ejemplo, entre un pistón y su cilindro o entre

**COMPRESIÓN (COMPRESSION):**

Aumento de la presión de un fluido al reducir su volumen. También acortamiento o

**SENTIDO DEL RELOJ  
(CLOCKWISE)**

Sentido de rotación que se da al cuerpo al girar (o al eje) en el sentido que se da a la manecilla superior de un reloj (suponiendo longitudinalmente vertical) se mueve hacia la derecha, y hacia la izquierda cuando pasa por

**RELACIÓN DE COMPRESIÓN  
(COMPRESSION RATIO):**

Relación o razón, de los volúmenes de un cilindro en el punto muerto inferior y en el punto muerto superior, cuando el pistón está en el punto muerto inferior, al volumen que se tiene

**COEFICIENTE DE FRICCIÓN  
(COEFICIENT OF FRICTION):**

Índice de la resistencia a la fricción (o a la oposición) desarrollada entre dos objetos en contacto físico directo y que se mueven

**CONCÉNTRICO (A) (CONCENTRIC):**

Que tiene relación con otro elemento.

**CONDENSACIÓN (COMBUSTION):**  
**(CONDENSATION):**

El proceso de la evaporación de una sustancia en estado de gas y la formación de una sustancia en

estado gaseoso que pasa al estado líquido (p. ej., cuando una masa de aire húmedo y caliente entra en contacto con una superficie fría).

**BIELA (*CONNECTING ROD*):**

Elemento de conexión entre el pistón y el cigüeñal.

**CONVECCIÓN (*CONVECTION*):**

Transferencia de calor que ocurre cuando un objeto calienta el aire circundante y el aire calentado transporta calor a otro objeto.

**CORROERSE (*CORRODE*):**

Desprenderse material superficial por acción química.

**SENTIDO CONTRARIO AL DEL RELOJ (O CONTRARRELOJ) (*COUNTER-CLOCKWISE*):**

Sentido de rotación de un punto con movimiento circular de modo que al pasar por la parte superior de su trayectoria (supuesta en un plano vertical) se mueve hacia la izquierda, y hacia la derecha cuando pasa por la parte inferior. Es el del movimiento contrario al de las manecillas de un reloj.

**ACOPLAMIENTO (*COUPLING*):**

Dispositivo de conexión entre dos objetos a fin de transmitir movimiento de uno a otro (p. ej., entre dos ejes).

**CÁRTER (*CRANKCASE*):**

Parte del motor que encierra o envuelve al

	cigüeñal.
<b>DILUCIÓN EN EL CÁRTER (CRANKCASE DILUTION):</b>	Acumulación de combustible no quemado en el cárter debida a mala combustión o a una mezcla demasiado rica.
<b>CIGÜEÑAL (CRANKSHAFT):</b>	Eje principal (acodado) de un motor que junto con la biela (o las bielas) transforma en rotación el movimiento rectilíneo alternativo del pistón (o de los pistones).
<b>PETRÓLEO CRUDO (CRUDE OIL):</b>	Petróleo sin refinar que es la base de la gasolina, el aceite para motores, el keroseno, el combustible diesel, etc.
<b>CORRIENTE ELÉCTRICA (CURRENT):</b>	Flujo de electricidad (o de los electrones).
<b>CILINDRO (CYLINDER)</b>	En un motor, cavidad de esta forma en el monobloque (o “monoblock”) y dentro de la cual se mueve el pistón.
<b>MONOBLOQUE O BLOQUE DE CILINDRO (S) (CYLINDER BLOCK):</b>	Pieza maciza de metal en la que se forma o coloca el cilindro (o los cilindros) de un motor.
<b>CABEZA (O CULATA) DE CILINDRO (CYLINDER HEAD):</b>	Parte metálica atornillada en la parte exterior del monobloque. Cierra el extremo superior de un cilindro y forma la parte principal de la cámara de combustión.

**CAMISA O CASQUILLO DE CILINDRO (CYLIBDER SLEEVE):**

Revestimiento metálico tubular puesto entre el pistón y la pared de un cilindro para proporcionar una superficie de desgaste que puede reponerse.

**PUNTO MUERTO (DEAD CENTER):**

Casa uno de los límites superior e inferior de la carrera de un pistón dentro de su cilindro. Un muñón de cigüeñal estará en la posición correspondiente a la de “las 12 horas”, o bien a la de “las 6 horas” (según la manecilla horaria de un reloj), cuando el pistón esté en uno u otro de sus puntos muertos.

**GRADO (DE ANGULO) (DEGREE):**

La 360ava parte de un ángulo de una vuelta. Es el que se forma en el centro de un círculo por los radios correspondientes a los extremos de un arco que sea un 360avo de la circunferencia de aquél.

**DETERGENTE (DETERGENT):**

Sustancia química añadida a un aceite lubricante de motor para mejorar sus propiedades.

**DETONACIÓN (DETONATION):**

Es el resultado de la combustión demasiado rápida de la mezcla combustible. Ignición explosiva.

- DIAFRAGMA (DIAPHRAGM):** Parte divisoria flexible entre dos cavidades.
- MOTOR DIESEL (*DIESEL ENGINE*):** Motor de combustión interna que funciona a base de encendido por compresión y que quema combustible de ese nombre. Tal denominación se le ha dado en honor del Dr. Rudolf Diesel, quien fue su inventor.
- DESPLAZAMIENTO VOLUMÉTRICO O CILINDRADA (DE UN PISTÓN) (*DISPLACEMENT*).** Es el volumen de aire desalojado o desplazado por un pistón cuando se mueve desde su PMI hasta su PMS. En el caso de un motor Wankel se calcula como el doble del volumen de la cámara de combustión multiplicado por el número de rotores.
- DISTRIBUIDOR (*DISTRIBUTOR*):** Dispositivo para abrir y cerrar el circuito primario del sistema de encendido eléctrico, y distribuir el alto voltaje resultante a cada cilindro en la forma sucesiva apropiada.
- DINAMÓMETRO (*BYNAMOMETER*):** Aparato para medir o determinar la potencia efectiva o de salida de un motor. Un dinamómetro “de motor” mide la potencia desarrollada en el cigüeñal, en tanto que uno “de chasis” mide la potencia en las ruedas motrices o propulsoras.
- EXCÉNTRICO (A) (*ECCENTRIC*):** Fuerza de centro, o que no tiene el mismo

**TUBO DE ESCAPE (*EXHAUST PIPE*)**

centro que otro elemento (como un círculo dentro de otro y cuyos centros no coinciden). Ejemplos: una leva de un árbol de levas o el cojinete o soporte sobre el que se monta el rotor de un motor Wankel.

**ENERGÍA (*ENERGY*):**

Es la capacidad para efectuar trabajo.

**MOTOR (*ENGINE*):**

Máquina que convierte alguna forma de energía en energía mecánica.

**DESPLAZAMIENTO VOLUMÉTRICO TOTAL O CILINDRADA TOTAL (DE UN MOTOR) (*ENGINE DISPLACEMENT*)**

Es el producto del desplazamiento volumétrico o cilindrada de un pistón, por el número total de cilindros del motor.

**GASOLINA ETÍLICA (*ETHYL GASOLINE*):**

Gasolina a la que se le ha añadido etilo para retardar su rapidez de combustión e impedir la detonación o golpeteo en motores de alta compresión.

**EVAPORACIÓN (*EVAPORATION*):**

Transformación de un líquido en vapor (p. ej., en la ebullición del agua).

**MÚLTIPLE DE ESCAPE (*EXHAUST MANIFOLD*):**

En motores de varios cilindros, tubo que interconecta las lumbreras de escape y el tubo de escape



	Tubo que conecta la lumbrera (o bien, el múltiple) de escape con el silenciador.
<b>EXPANSIÓN (<i>EXPANSION</i>):</b>	Aumento de volumen de un gas, como el que ocurre cuando se enciende y arde la carga de mezcla combustible comprimida en el cilindro.
<b>FAHRENHEIT (<i>FAHRENHEIT</i>):</b>	Término que designa el sistema y la unidad (grado) de una escala de temperaturas en la que el punto de congelación del agua es 32° y su punto de ebullición, 212°
<b>METAL FERROSO (<i>FERROUS METAL</i>):</b>	Metal que contiene hierro o acero. Estos dos últimos se llaman “metales férricos”
<b>FILTRO (<i>FILTER</i>):</b>	Dispositivo para separar materias extrañas sólidas de líquido como gasolina, aceite o agua, o bien , de gases como el aire.
<b>PUNTO DE INFLAMACIÓN (<i>FLASH POINT</i>):</b>	Temperatura a la que se inflama un líquido combustible (p. ej., un aceite).
<b>VOLANTE (<i>FLYWHEEL</i>):</b>	Rueda de peso y tamaño relativamente grandes montada en un eje (o cigüeñal) giratorio para regular su rotación absorbiendo, almacenando y cediendo energía mecánica.

**PIE-LIBRA (*FOOT-POUNT*):**

Unidad inglesa de trabajo que se define como el realizado por una fuerza de 1 libra al recorrer una distancia de 1 pie.

**MOTOR DE CUATRO TIEMPOS  
(*FOUR-STROKE CYCLE ENGINE*):**

Motor en el que se efectúa una carrera de fuerza del pistón por cada dos revoluciones del cigüeñal. Un ciclo está formado por cuatro carreras: (1) de admisión, (2) de compresión, (3) de fuerza y (4) de escape. El de gasolina se conoce también como “motor Otto” o “motor de ciclo de Otto”, en honor de su inventor, Nikolaus August Otto.

**GAS (*GAS*):**

Fluido no líquido que a presión constante se dilata al aumentar su temperatura y se contrae al disminuir la misma.

**EMPAQUETADURA O EMPAQUE  
(*GASKET*):**

Material sólido compresible que se coloca en las juntas, entre dos piezas para evitar escapes de fluidos y asegurar un cierre hermético o selladura.

**RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE  
DOS ENGRANES (*GEAR RATIO*):**

Relación del número de vueltas que debe dar el engrane impulsor (de un engranaje de dos) para que el impulsado dé una revolución completa. Si el impulsor efectuara tres revoluciones por cada una del impulsado, la relación de transmisión sería de 3:1.

**REGULADOR DE VELOCIDAD  
(GOVERNOR):**

Dispositivo que controla o regula la velocidad de una máquina o motor.

**GOMA (GUM):**

Acumulaciones de combustible oxidado que se forman en el sistema respectivo en otras partes del motor.

**POTENCIA (POWER):**

Rapidez con que se efectúa trabajo.

**CABALLO DE POTENCIA (HORSE  
POWER)**

Equivale a la potencia necesaria para levantar un peso de 550 libras a una altura de 1 pie en 1 segundo (o bien, un peso de 33 000 libras a misma altura, en 1 minuto).

**HIDROCARBURO  
(HYDROCARBON):**

Compuesto de carbono e hidrógeno.

**DENSÍMETRO (HYDROMETER):**

Dispositivo de flotador para medir la densidad relativa (llamada a veces incorrectamente "gravedad específica") de un líquido (p. ej., la del electrolito de un acumulador eléctrico para determinar su estado de carga).

**MARCHA MÍNIMA (IDLE):**

Funcionamiento de un motor a una velocidad uniforme, pero la más baja posible.

**VÁLVULA DE MARCHA MÍNIMA  
(IDLE VALVE):**

Válvula de aguja que controla la mezcla combustible que llega al cilindro cuando el motor funciona en marcha mínima.

**SISTEMA DE ENCENDIDO O  
IGNICIÓN (*IGNITION SYSTEM*):**

Sistema eléctrico de un motor que produce la chispa necesaria para encender la carga combustible. En motores pequeños se compone de magneto, bobina de inducción, ruptor, condensador, bujía y los conductores respectivos.

**PI = POTENCIA INDICADA (O  
*INTERIOR*) (*1HP = INDICATED  
HORSEPOWER*):**

Valor de la potencia desarrollada en la cámara de combustión de un motor. Difiere de la potencia efectiva por las pérdidas mecánicas en el motor.

**INERCIA (*INERTIA*):**

Resistencia que presenta un cuerpo a cambiar su estado de reposo o de movimiento, Un volante es un “dispositivo de inercia”.

**MÚLTIPLE DE ADMISIÓN (*INTAKE  
MANIFOLD*):**

Tubo o sistema de tubos que conecta la base del carburador con las válvulas de admisión (o las lumbreras de entrada, en los de dos tiempos)

**VÁLVULA DE ADMISIÓN (*INTAKE  
VALVE*):**

Válvula por la que la mezcla de aire y combustible entra en la cámara de combustión.

**MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA (*INTERNAL  
COMBUSTION ENGINE*):**

Motor que obtiene su energía motriz por medio de la combustión o quema de un combustible que tiene lugar dentro de la

propia máquina. (Una máquina de vapor era un “motor de combustión externa”.)

**COJINETE (*JOURNAL*):**

Cavidad cilíndrica dentro de la cual gire un extremo de un eje.

**GOLPETEO O CASCABELEO (*KNOCK*):**

Ruido producido en un cojinete flojo o desgastado. En un motor de combustión interna, ruido causado por combustión prematura del combustible; se llama también detonación.

**MECANISMO (*LINKAGE*):**

Conjunto de varillas, yugos y palancas articuladas, empleado para transmitir movimiento en diferentes direcciones y entre dos partes distantes.

**LÍQUIDO (*LIQUID*):**

Sustancia que se adapta a la forma interna de su recipiente sin cambiar de volumen.

**MAGNETO (*MAGÍETO*):**

Generador eléctrico movido por el propio motor de combustión interna, y que genera la alta tensión o voltaje necesario para producir la chispa en las bujías.

**MÚLTIPLE (*MANIFOLD*):**

Tubo o serie de tubos que conecta varios orificios de entrada (o bien, de salida) a un solo orificio de salida (o bien, de entrada). Véase múltiple de admisión y múltiple de

escape.

**MANÓMETRO DE LÍQUIDO  
(MANOMETER):**

Instrumento para medir la presión de gases y vapores. Consta de un tubo estrecho, a veces en forma de U, con un extremo abierto a la atmósfera y el otro conectado a la cámara de presión.

**EFICIENCIA MECÁNICA  
(MECHANICAL EFFICIENCY):**

Relación o razón de la potencia al freno (PF) a la potencia indicada (PI) de un motor. Indica la magnitud de la potencia que se pierde debido a la fricción, en las partes móviles del motor. Se calcula, por lo tanto, como el cociente de PF/PI.

**MOTOR ELÉCTRICO (MOTOR):**

Máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica.

**SILENCIADOR (MUFFLER):**

Cámara por la que se hacen pasar los gases de escape para reducir el ruido de la combustión y enfriar dichos gases.

**ACEITE DE GRADO MÚLTIPLE DE  
VISCOSIDAD (MULTI-VISCOSITY  
OILS):**

Aceites lubricantes que satisfacen los requisitos de la SAE (Sociedad de Ingeniería de Automóviles) tanto para operación a bajas temperaturas (baja viscosidad) como a altas temperaturas (alta viscosidad). Por ejemplo, el designado por SAE-10W-30.

**COJINETE DE AGUJAS (*NEEDLE BEARING*):**

Cojinete antifricción del tipo de rodillos, cilíndricos, los cuales tienen un diámetro muy pequeño en comparación con su longitud.

**METALES NO FERROSOS (*METALS NON FERROUS*):**

Metales que contienen cantidades muy pequeñas de hierro. Los que no contienen nada de este metal se llaman “no féreos”.

**ÍNDICE DE OCTANO (*OCTANE NUMBER*):**

Número que indica la resistencia a la detonación o golpeteo de una gasolina. Se llama también, a veces, “octanaje”.

**PASOS DE ACEITE (*OIL PUMPING*):**

Estado de un motor en que una cantidad excesiva de aceite lubricante se pasa o fuga por los anillos del pistón y se mezcla con la carga combustible.

**MOTOR OTTO (*OTTO ENGINE*):**

Véase Motor de cuatro tiempos.

**CICLO DE OTTO (*OTTO CYCLE*):**

Véase Motor de cuatro tiempos.

**ÁRBOL DE LEVAS A LA CABEZA (*OVERHEAD CAMSHAFT*):**

Árbol de levas montado por encima de la cabeza de los cilindros y movido por una cadena de distribución de cierta longitud.

**VÁLVULA A LA CABEZA (*OVERHEAD VALVE*):**

Válvula localizada en la cabeza de un cilindro.

<b>OXIDACIÓN (OXIDIZING):</b> <b>CABEZA DE PISTÓN (PISTON HEAD):</b>	Acción química en que un metal se combina con el oxígeno. Tal oxidación origina herrumbre, incrustación y corrosión.
<b>GASOLINA (GASOLINE, PETROL):</b>	Combustible líquido obtenido por destilación del petróleo y que se emplea como carburante en motores de combustión interna.
<b>PETRÓLEO (PETROLEUM):</b>	Sustancia aceitosa combustible compuesta de carbono e hidrógeno (hidrocarburo) y que se extrae de yacimientos en el subsuelo. A partir de su estado natural (petróleo crudo) se obtienen por refinación la gasolina, el keroseno, los aceites lubricantes, el combustible Diesel y otros productos más.
<b>TORNILLO PHILLIPS (PHILLIPS HEAD SCREW):</b>	Tornillo cuya cabeza está ranurada en cruz, se instala mediante un destornillador Phillips.
<b>PISTÓN O EMBOLO (PISTON):</b>	Pieza cilíndrica que se mueve en el interior de un cilindro y transmite la presión de un fluido contenido en éste. En un motor de combustión interna está abierto o ahuecado en uno de sus extremos, por donde se conecta mediante un pasador a la biela que transmite su movimiento al cigüeñal. Se convierte así en rotatorio el movimiento rectilíneo alternativo (o reciprocante) del pistón.



**ENTREANILLOS DE PISTÓN  
(PISTON LANDS):**

Parte superior maciza de un pistón. Se considera generalmente que el anillo más alto constituye su límite inferior.

**ANILLO DE PISTÓN (PISTON  
RINGS):**

Parte de un pistón situadas entre las ranuras de los anillos.

Anillos de cierre expansibles alojados en las ranuras de un pistón para impedir fugas de mezcla o de gases y evitar la entrada de aceite a la cámara de combustión.

**FALDÓN DE PISTÓN (PISTON  
SKIRT):**

Parte de un pistón desde sus anillos hasta abajo.

**VÁLVULA DE PLATILLO (POPPET  
VALVE):**

Tipo de válvula que consta de un disco circular (platillo) con un vástago central perpendicular al mismo. Suelen emplearse para abrir y cerrar las lumbreras de admisión y de escape de un cilindro de motor.

**LUMBRERAS (PORTS):**

Aberturas de un cilindro por donde entra o sale la mezcla combustible o los gases de escape pueden tener o no alojamiento para válvula. A veces también se llama así la abertura que tiene una cámara o recipiente cualquiera para conectarlo a un tubo (p. ej.,

las lumbreras de entrada o salida de agua en un tanque o depósito).

**ENCENDIDO ANTICIPADO O  
PREIGNICIÓN (*PRE-IGNITION*):**

Encendido antes de tiempo de la carga combustible en un motor. Puede ser originado por alguna astilla o esquirla incandescente de metal o carbón que encienda dicha carga antes de que se produzca la chispa.

**FRENO DE PRONY (*PRONY  
BRAKE*):**

Dispositivo para medir la potencia de salida de un motor por medio de un freno de fricción.

**PROPANO (*PROPANE*):**

Subproducto del petróleo que se utiliza como combustible para motores. Se designa también por LPG (de liquefied petroleum gas, o sea, “gas licuado de petróleo”).

**PSI:**

Abreviatura, muy empleada en inglés de la unidad de presión, “libra por pulgada cuadrada” (pound per square inch).

**VARILLA DE EMPUJE O PUNTERO  
(*PUSH ROD*):**

Varilla que conecta el levantaválvulas con un extremo del balancín, en los motores de válvulas a la cabeza.

**MOTOR RADIAL (*RADIAL ENGINE*):**

Motor de combustión interna cuyos cilindros se hallan montados alrededor del cárter en forma análoga a la de los rayos de una rueda.

**RELACIÓN O RAZÓN (*RATIO*):**

Relación entre dos valores o magnitudes expresada por un cociente. Por ejemplo, si una mezcla combustible contiene 15 partes de aire por 1 de gasolina, la relación de aire a combustible es de 15:1.

**MOVIMIENTO ALTERNATIVO  
(*RECIPROCATING MOTION*):**

Movimiento de vaivén por lo general en línea recta, que se repite regularmente, primero en una dirección, luego en la opuesta, y así sucesivamente. Por ejemplo, el movimiento de un pistón en un cilindro. Se llama también, a veces. “movimiento recíprocante”.

**REGULADOR (*REGULATOR*):**

Dispositivo que reduce y controla el valor de una magnitud, o bien, para mantenerla constante. Por ejemplo, los reguladores de presión, de voltaje y de velocidad.

**BALANCÍN (*ROCKER ARM*):**

Elemento que cambia el movimiento ascendente del puntero o varilla de empuje, en el movimiento descendente del vástago de un válvula, para abrir una lumbrera de un cilindro. Junto con el levantaválvula y la varilla de empuje constituye el “mecanismo de puntería” accionado por una leva.

**MOTOR ROTATIVO TIPO WANKEL  
(*ROTARY COMBUSTION ENGINE*):**

Motor ideado por Félix Wankel y que está constituido por un motor triangular curvilíneo que gira dentro de una carcasa o cámara de

perfil epitrocoidal. Los cuatro tiempos del ciclo de Otto se efectúan durante una revolución continua. Como no hay movimiento alternativo, dicho rotor se conecta directamente al eje principal de salida por medio de una excéntrica.

**VÁLVULA ROTATORIA (*ROTARY VALVE*):**

Válvula cuyas dos aberturas quedan alternadamente alineadas y fuera de alineamiento con respecto a lumbreras, para permitir el paso de mezcla combustible. Se emplea principalmente en motores de dos tiempos.

**ROTOR (*ROTOR*):**

En un distribuidor, pieza en forma de casquete , montada en uno de los extremos del eje del distribuidor. El brazo del contacto móvil del ruptor se apoya sobre el rotor, y se acerca o se aleja del otro contacto a medida que gira dicho rotor, abriendo y cerrando así los contactos. Se llama también leva del ruptor.

**RPM (*RPM*):**

Símbolo de “revoluciones por minuto”. La sociedad norteamericana de Ingenieros Mecánicos (ASME) ha adoptado la designación r/min.

**AGARROTAMIENTO O AGARRE**

**(SEIZING):**

Término que designa la adhesión firme de dos piezas móviles que normalmente tienen entre sí una capa de lubricante para evitar que una roce con la otra. Suele originarse por un aumento en la temperatura de las partes que destruye la película lubricante.

**SEMI-DIESEL (SEMI-DIESEL):**

Designación de un motor que funciona a alta compresión con inyección de combustible, y que emplea la ignición eléctrica en vez del encendido por compresión.

**ESPACIO DISRUPTIVO (SPARK GAP):**

Espacio que separa dos electrodos y a través del cual salta una chispa debido a una diferencia de potencial eléctrico. Por ejemplo, en una bujía de ignición.

**BUJÍA DE IGNICIÓN (SPARK PLUG):**

Pieza del sistema eléctrico que penetra en la cámara de combustión de un motor y produce la chispa que enciende la carga combustible. Se compone básicamente de dos electrodos, separados por un espacio que se determina con precisión, y a los cuales se aplica una alta diferencia de potencial (o tensión) para crear la chispa. El momento en que ocurre ésta, lo fija el funcionamiento del distribuidor.

**CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE (CEC) (SPECIFIC**

Valor del consumo de combustible de un motor en relación con la potencia que

***FUEL CONSUMPTION, SFC):***

produce. Si un motor desarrollara 1 HP por cada kilogramo de combustible utilizado por hora, tendría un CEC de 1 kg/h-HP.

**DENSIDAD RELATIVA ( *SPECIFIC GRAVITY*):**

Relación del peso (o masa) por unidad de volumen de una sustancia, al peso (o masa) por unidad de volumen del agua. Por ejemplo, si un volumen dado de una sustancia pesara el doble que un volumen igual de agua, tal material tendría una densidad relativa de 2. se llama a veces, incorrectamente, “gravedad específica”.



## RESUMEN

Alrededor del mundo, el motor de combustión interna ha constituido un elemento indispensable en el desarrollo de la humanidad por más de un siglo, siendo este uno de los logros de la ingeniería más importantes. Gracias al motor de combustión la humanidad ha logrado sustanciosos avances y ha permitido el desarrollo de la civilización a niveles muy altos.

El motor de combustión está presente en las industrias de transporte, agro, comercio y servicios, en las viviendas, fábricas, minas, y tiene diversas aplicaciones, desde el uso en grandes barcos hasta pequeñas cortadoras de césped. El uso es tan variado porque es una fuente bastante segura de potencia, a un relativo bajo costo, es muy durable y tiene buen rendimiento. Su fácil adaptación a diversos mecanismos lo hacen versátil y un excelente ayudante en las labores mas complejas y bajo condiciones adversas.

Su perfeccionamiento ha tenido logros en las últimas décadas, haciéndolo una máquina eficiente, potente, económica y muy durable. La mayor parte de aplicaciones las tiene en el sector de transporte, dándole movilidad a más de 837 millones de vehículos alrededor del mundo incluyendo motocicletas, transportes ferroviarios, avionetas, aviones, barcos, lanchas, maquinaria agrícola, etc.

Sin embargo, el motor de combustión es también responsable de un alto porcentaje de emisiones nocivas al medio ambiente, que actualmente ha sido objeto de preocupación y estudio a nivel general, y aunque se ha



logrado que el motor contamine menos cada cierto número de años, el aumento de unidades no compensa los esfuerzos hechos hasta el momento, esto ha logrado que el motor de combustión ya no sea tan bien visto como antes y se busquen fuentes alternativas de energía.

Otro factor contrario al futuro del automóvil, es el constante aumento a los precios del petróleo y la crisis que esto ha provocado, obligando a muchas industrias a optar por los biocombustibles, aunque esta tecnología es casi inexistente en nuestro país. Es importante mencionar que la mayoría de motores de combustión interna, operan bajo condiciones de bajo mantenimiento, desajustados, mal calibrados o lo que es peor aun bajo condiciones de operación incorrectas o en aplicaciones que están fuera de su alcance, lo que provoca que el motor se torne poco eficiente, con falta de potencia, contaminante y que aumente el consumo de combustible.

Es por ello de suma importancia que el estudiante de ingeniería, especialmente ingeniería mecánica, tenga un conocimiento amplio, claro y específico del funcionamiento del motor de combustión y todos los factores que intervienen en su funcionamiento, así como las propiedades ambientales que afectan es su funcionamiento, las propiedades termodinámicas, físicas y químicas que permiten su operación y la manera de optimizar su rendimiento y aprovechar al máximo la energía que potencialmente nos puede proveer en un momento dado.

El presente trabajo constituye un manual de prácticas de laboratorio, utilizando como objeto de estudio un motor marca BRIGGS & STRATTON de 3 HP. De gasolina, y un equipo de medición didáctico que incluye distintos implementos y accesorios. La finalidad primordial del

equipo es la medición del torque producido por el motor así como la potencia a distintas condiciones de funcionamiento, tales como aceleración, carga, temperatura, apertura de la garganta del carburador, tipo de combustible utilizado, diversas condiciones mecánicas, etc. Además el equipo permite medir el consumo específico de combustible a las condiciones antes descritas, así como el consumo de aire, lo que permitirá un completo estudio del motor y la obtención de datos de ingeniería que el estudiante podrá graficar e interpretar según las instrucciones dadas en forma paulatina a lo largo de las practicas en el presente manual.

El manual, da una introducción a las condiciones actuales del laboratorio, su organización y el equipo con que cuenta, se hace mención de la aplicación que tendrán las respectivas practicas de laboratorio. Posteriormente se agrego una parte de historia y evolución de los motores de combustión así como la explicación en forma breve del funcionamiento de los motores de combustión interna, y de los componentes principales que lo constituyen además se estudian algunos componentes auxiliares, como el carburador y el sistema de encendido que utilizan el mencionado motor.

Se detallan los peligros y riesgos que se pueden correr a la hora de utilizar y operar los motores, por lo que se explica la utilización de extinguidores, primeros auxilios y normas de seguridad indispensables en el laboratorio. Se definen y explican con ejemplos sencillos los conceptos básicos y dimensionales físicas que se utilizarán en el desarrollo de las

prácticas de laboratorio tales como potencia, par motor, caballo de fuerza, revoluciones por minuto, entre otras.

Se dedica una práctica, al conocimiento del equipo de medición, explicando su funcionamiento, uso y cuidado, así como algunos ajustes previos a su utilización que se deben tomar en cuenta. El motor BRIGGS & STRATTON es detallado en todas sus partes, y se explica los factores a tomar en cuenta a la hora de operarlo y detener su marcha. Se explica la forma de hacer los cálculos matemáticos para obtener las variables una vez obtenidas las lecturas dadas por los instrumentos. En las prácticas de medición de par, obtención de potencia, así como las de medición de consumo de aire y consumo de gasolina, se presentan tablas en donde se tabulan los datos y los resultados obtenidos, detallando a continuación las gráficas para una comprensión más clara y sencilla del comportamiento del motor.

También se detallan prácticas para obtener datos de ingeniería como la potencia media efectiva al freno, el consumo específico de combustible, la eficiencia volumétrica y la eficiencia térmica, que nos proveerán una panorámica completa de las condiciones en las cuales el motor esta funcionando, y que representara gran utilidad para el estudiante que en su futuro tenga relación con cualquier proceso que incluya la ayuda de un motor de combustión.

## OBJETIVOS

1. Realizar un estudio completo del funcionamiento del motor de combustión interna a gasolina marca BRIGSS & STRATTON, bajo distintas condiciones de operación.
2. Encontrar las condiciones óptimas de funcionamiento en donde el motor brinde el máximo rendimiento y la mayor eficiencia posible.
3. Trazar las curvas de par motor y potencia versus revoluciones por minuto.
4. Trazar las curvas de eficiencia térmica, eficiencia volumétrica, consumo específico de combustible y presión media efectiva al freno en base a los experimentos obtenidos en el laboratorio.
5. Comprobar la eficiencia del motor cuando este está debidamente reglado y afinado.
6. Llevar a cabo el estudio del motor, así como las respectivas pruebas en condiciones atmosféricas constantes, tales como temperatura ambiente, humedad relativa y presión atmosférica.
7. Encontrar el par motor real máximo de dicho motor, así como la potencia máxima y determinar el número de revoluciones en que estos se dan.

8. Explicar porque la curva de par motor versus revoluciones por minuto difiere de la curva de potencia a las mismas velocidades.
9. Explicar porque la curva de par motor decreciente a determinado numero de revoluciones.
10. Encontrar el rango optimo operativo del motor BRIGGS & STRATTON de 3 HP.
11. Encontrar y describir el comportamiento del motor a velocidad constante carga variable.
12. Encontrar el comportamiento del consumo de combustible según la velocidad del motor y el rendimiento del mismo.
13. Encontrar el comportamiento del consumo de aire del motor bajo distintas condiciones de carga y encontrar la relación de este con el consumo de combustible y la obtención de potencia.

## INTRODUCCIÓN

Se ha dividido el contenido en seis capítulos, siendo el primero, el correspondiente a la historia de los motores de combustión interna, en el que se hace una descripción de la evolución que han tenido estos mecanismos y del servicio que han prestado a la humanidad por mas de un siglo, así como los avances que se han logrado en cuanto a su eficiencia, uso de materiales mas livianos y forma y disposición de los cilindros y de las cámaras de combustión.

El segundo capítulo corresponde al detalle de las medidas de seguridad a seguir en el uso a nivel de laboratorio de los motores de combustión, esto incluye recomendaciones a cerca del almacenamiento y el manejo de los combustibles, tipos de incendios y extinguidores y el peligro de los gases contaminados emanados en la operación de dichos motores como el monóxido de carbono y sus efectos en el humano.

El tercer capítulo hace mención de los conceptos básicos de física empleados en las explicaciones de los fenómenos termodinámicos y mecánicos que acontecen en el funcionamiento de los motores, entre estos conceptos se detalla el trabajo, la potencia, la energía, el par motor y el caballo de fuerza.

En el cuarto capítulo se hace un extenso desarrollo de la operación de los motores de gasolina, explicando el ciclo de Otto y sus cuatro tiempos, que es el ciclo utilizado en dichos motores, tanto en forma teórica como real, también se presenta una explicación del proceso de destilación del petróleo, medio por el cual se obtienen las gasolinas. Esta última, debido a su importancia en el presente trabajo, se hace una descripción de sus principales propiedades y características, tales como el octanaje, la volatilidad y su contenido de azufre, etc. En este mismo capítulo se explica el funcionamiento del carburador, medio por el cual se adecua el combustible para que el motor lo pueda quemar, se explica el funcionamiento del sistema de encendido y de las bujías de encendido, y la definición de desplazamiento volumétrico y relación de compresión.

El capítulo cinco corresponde a la operación del dinamómetro y a la descripción de sus indicadores y controles, la forma en que se opera la unidad y la manera en que se logra medir la velocidad del motor, el par de rotación y el cálculo de potencia en base a los datos obtenidos.

El capítulo seis es prácticamente el objeto de este trabajo, ya que en él se explican todas las prácticas de laboratorio que han sido diseñadas, por ejemplo el par de rotación y velocidad con el acelerador totalmente abierto, el par de rotación a velocidad constante y apertura variable del acelerador, medición del consumo de combustible, medición del consumo de aire, y el cálculo de la potencia, relación de aire a combustible, presión media efectiva al freno, consumo específico de combustible, eficiencia térmica, eficiencia volumétrica y el trazo de gráficas de funcionamiento.

## 1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Generalidades

Descripción del laboratorio de motores de combustión interna

El laboratorio de motores de combustión interna, ubicado en el edificio T7 de la Facultad de Ingeniería, es constituido por un espacio físico provisto de una serie de equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos, bancos de trabajo, y paneles con fines didácticos.

El laboratorio consta de varios motores de combustión interna a gasolina y dos motores de combustión interna Diesel del tipo en línea, un motor gasolina tipo bóxer o plano marca volkswagen, así como dos motores seccionados didácticos. Además cuenta con paneles demostrativos de algunos de los circuitos eléctricos y electrónicos utilizados en los vehículos, una bomba de inyección diesel mecánica, bancos de trabajo, una computadora con software de información técnica de vehículos, gabinete de herramientas, pizarrones, extinguidotes, entre otros, mismos que fueron donados por los estudiantes.

El laboratorio posee dos motores de combustión interna didácticos, uno de gasolina y otro diesel, provistos de un dinamómetro respectivamente, uno de los cuales es objeto de la presente investigación.



## Descripción de las diferentes áreas del laboratorio

Actualmente el laboratorio de motores de combustión interna se encuentra en un proceso de reacondicionamiento de ambientes. Las áreas que lo deben constituir y que se propone mejorar son las siguientes:

1

Área de motores: área que ocupa la mayor parte del laboratorio y es donde se disponen los distintos motores montados sobre una base metálica con instalaciones de tubería para la evacuación de los gases de escape hacia fuera del laboratorio.

Área de paneles didácticos: área designada para la colocación de los paneles didácticos así como los motores seccionados y otros equipos de apoyo.

Área de bancos de trabajo: área que ocupa el contorno del laboratorio, es utilizada para alojar los bancos de trabajo con sus respectivos tornillos de banco y entrepaños.

Área de gabinetes de herramientas: espacio utilizado para alojar los gabinetes que contienen las herramientas, así como algunos instrumentos de prueba y medición.

Área de Lavado: área comprendida por una pila con instalación de grifo de agua y drenaje para la limpieza del laboratorio y el uso de los estudiantes.

Área de Cómputo: lugar donde se coloca la computadora que se utiliza para las respectivas consultas técnicas del laboratorio.

### 1.1.3 Descripción de la finalidad del laboratorio

El laboratorio de motores de combustión interna tiene como finalidad complementar los conocimientos adquiridos en el curso del mismo nombre, de la carrera de ingeniería mecánica, mediante la realización de determinadas practicas de laboratorio y el uso de equipos especializados que permitan al estudiante experimentar y aplicar teoría tanto en desarrollo de actividades técnicas como en aplicaciones de la ingeniería.

Al completar el curso del laboratorio el estudiante será capaz de identificar todos los componentes, sistemas y mecanismos de un motor de combustión interna, así como conocer el desarme y arme de dichos motores. Clasificará los motores por su capacidad, tipo de ciclo, numero de cilindros, desplazamiento volumétrico, orientación de los cilindros, tipo de tren de válvulas, accionamiento del eje de levas, número y disposición de válvulas, etc.

El estudiante desarrolla destrezas en el uso de herramientas manuales y conoce las aplicaciones de herramientas especializadas para el diagnóstico y reparación de los motores. Además, aprenderá a realizar pruebas y a diagnosticar averías en los mismos. Será capaz de hacer mediciones de potencia, torque, consumo de combustible y aire a distintos números de revoluciones en los motores, información que podrá utilizar para esbozar gráficas y determinar los puntos de funcionamiento óptimo en las relaciones potencia-consumo.

En el campo de la electricidad y la electrónica automotriz, el estudiante observa el funcionamiento de los circuitos de encendido convencionales y electrónicos así como el estudio de sus componentes y los procedimientos de diagnóstico y reparación de los mismos. También estudiará los mecanismos de inyección diesel convencional y obtendrá las bases de la inyección electrónica.

#### 1.1.4 Proyección del laboratorio

El laboratorio de motores de combustión interna tiene como proyecto ampliar, complementar y diversificar las prácticas y experiencias ejecutadas por los estudiantes dentro del mismo, orientándolas a un modelo que se acerque más a la utilización y aplicación de ciencias de la ingeniería y mantener cierto porcentaje de prácticas técnicas.

Actualmente, se trata de ajustar y actualizar las prácticas a los modernos equipos electrónicos de inyección de combustible así como sistemas de ignición transistorizados y sistemas de control de emisión de gases. Además se está implementando el uso de software como una herramienta auxiliar con la base de datos técnicos y el despliegue de diagramas mecánicos y eléctricos que provean al estudiante facilidad de obtención de los mismos y evitar el empirismo acostumbrado acerca de dichos datos.

#### 1.1.4.1 Misión

Capacitar estudiantes en para que apliquen las ciencias de ingeniería en el diagnóstico y reparación de motores de combustión, optimizando su funcionamiento y protegiendo el medio ambiente.

#### Visión

Ser un ente académico y técnico a coto plazo que provea al estudiante la información tecnológica vanguardista que le permita vislumbrar un panorama actualizado e integral del área de generación de potencia por métodos de combustión interna.

#### 1.1.4.2 Organización interna del laboratorio

El laboratorio de motores de combustión interna está dirigido por el Ingeniero Mecánico Byron Palacios, encargado de dictar las clases magistrales referentes a las prácticas y actividades del curso. Los estudiantes se organizan en grupos de aproximadamente 6 para llevar a cabo las prácticas.

### 1.2 Estudio de las prácticas de Laboratorio con panel didáctico

#### 1.2.1 Adecuación de prácticas al laboratorio

Las prácticas de laboratorio han sido diseñadas para que el estudiante conozca y experimente cada prestación que debe ser medida y analizada en un motor de combustión interna, con la finalidad de tabular los

resultados y emitir conclusiones a cerca de las condiciones óptimas de funcionamiento.

#### 1.2.1.1 Prácticas de par de rotación

Hay dos conceptos de la mecánica que las personas tienden a confundir, el primero es el de torque que por definición es el producto de una fuerza por la distancia donde se aplica dicha fuerza, esto también se denomina momento, par o trabajo mecánico. Otra definición de lo mismo es: torque es el trabajo que puede realizar un motor, su unidad es Kg. m, Libras pie, etc. El otro concepto es el de potencia que es el trabajo que se puede desarrollar por unidad de tiempo, es decir es la velocidad con que se puede realizar un trabajo, su unidad es CV, KW, HP, etc. Por ejemplo, se puede subir una cuesta en una moto de 2 HP o una de 20 HP, pero la velocidad a la que se puede realizar con cada una, van a ser diferentes, de hecho con la de 20 HP se va a subir más rápido.

Por definición, potencia es el trabajo realizado en la unidad de tiempo. Dicho de otra manera la potencia mide la rapidez con que se efectúa un trabajo. En los motores de combustión interna es necesario determinar la relación entre potencia, torque y velocidad, para encontrar el punto en el que el motor brindará la mayor cantidad de trabajo con la menor cantidad de velocidad, o en otras palabras con la mayor economía posible. Todos los motores tienen un torque máximo, dado a un numero determinado de revoluciones por minuto, después de este punto, aunque el motor continúe aumentando su velocidad, el torque ya no se incrementará, por el contrario decrecerá, por lo tanto es tarea del ingeniero determinar cuál es la velocidad adecuada del motor para que brinde el torque máximo en el motor. En las prácticas de par de rotación que se

llevarán a cabo en el laboratorio, el estudiante se familiarizará con estos términos y encontrará las curvas de potencia del motor didáctico bajo distintas condiciones de operación.

#### 1.2.1.1.1 Prácticas con acelerador totalmente abierto

La prueba con el acelerador totalmente abierto, es un buen método por el cual puede determinarse la potencia máxima de un motor a cualquier velocidad en r.p.m dentro del intervalo de funcionamiento del motor. Esto permite comparar la potencia real con la indicada en las especificaciones del fabricante. Para el motor didáctico, el intervalo de funcionalidad operativa varia entre las 1000 y 5000 r.p.m., intervalo durante el cual el motor desarrollará su máxima potencia en caballos de fuerza. Durante la operación del motor en estas condiciones deberá aplicársele una carga dada por el freno hidráulico, para reducir las r.p.m y evitar las sobre- revoluciones y el sobrecalentamiento del mismo, de esta manera se encontrará el torque máximo a determinadas revoluciones.

#### 1.2.1.1.2 Prácticas con apertura variable del acelerador

En algunos casos es necesario que un motor de combustión interna funcione a una velocidad constante determinada, sin embargo existen distintos factores que provocan que el motor disminuya o aumente su potencia, tales como la temperatura del motor, el ingreso a una pendiente, las corrientes de viento, la presión atmosférica, la temperatura ambiente, etc. Razón por la cual el motor debe tener un dispositivo que controle la entrada de mezcla aire combustible al motor y permita en forma gradual mantener la velocidad de operación del motor. En esta prueba se

determinará si el torque es constante o no, cuando el motor es operado a una velocidad constante pero con variaciones de carga, lo cual obligará a que la mariposa de los gases sea graduada constantemente en diferentes posiciones.

#### 1.2.1.2 Prácticas de medición de consumo de combustible

El posible agotamiento de las reservas petrolíferas mundiales y la constante escalada de los precios del crudo ha sido un factor que ha preocupado a ingenieros, científicos y varias entidades conservacionistas durante décadas, debido a las presiones gubernamentales en diferentes países que obligan a reducir el consumo de combustibles en los motores y por consecuencia la reducción en los niveles de contaminación. Sin embargo los motores ya diseñados para consumir cierta cantidad de combustible, son afectados por varios factores que influyen en un incremento extra del consumo, tales factores son entre otros: la presión atmosférica, la temperatura, la viscosidad del aceite, el octanaje del combustible, carga parcial, carga completa, número de revoluciones del motor, etc. Por lo tanto es de suma importancia para el ingeniero interpretar estas variaciones, para encontrar el estado que optimice el consumo del carburante, por lo que es necesario una medida exacta de dicho consumo en cada uno de los estados de las propiedades físicas que afectan el funcionamiento del motor.

Las prácticas de medición de consumo de combustible se obtendrán por medio del uso de un rotámetro, que indica la cantidad de consumo en cada instante del funcionamiento del motor.

#### 1.2.1.2.1 Prácticas con gasolina de 87 octanos

El octanaje es el nivel de antidetonante que poseen las gasolinas. El número de octanos ayuda reducir el punto de inflamación de la gasolina, con lo que se minimiza la posibilidad de una preignición en la cámara de combustión, lo que causaría daños mecánicos y pérdida notable de potencia en el motor.

Los motores tienen distintas relaciones de compresión. Para motores de gasolina estas relaciones son aproximadamente 8:1 a 12:1. Lo que quiere decir que el volumen de la mezcla aire combustible se reduce hasta una octava o doceava parte de su volumen original. Dependiendo de la relación de compresión y de la temperatura normal del funcionamiento así deberá ser el número de octanos que tenga la gasolina a utilizar en dicho motor. Entre mas alta sea la relación de compresión más alto deberá ser el número de octanos.

Los combustibles naftálicos en Guatemala se presentan en 87, 95 y 98 octanos. Su precio es directamente proporcional, por lo que si se tiene un motor de baja compresión y se utiliza gasolina de 98 octanos, no se dañaran las partes internas del motor pero si habrá un desperdicio económico innecesario. Por el contrario si se utiliza gasolina de bajo octanaje en un motor de alta compresión se producirá detonación y perdida de potencia entre otras consecuencias. En estas prácticas se pretende verificar la potencia máxima producida por el motor didáctico utilizando combustible de 87 octanos.



#### 1.2.1.2.2 Prácticas con gasolina de 95 octanos

La finalidad de la practica de potencia del motor didáctico utilizando gasolina con 95 octanos es definitivamente para determinar si existe un incremento de potencia con respecto a la prueba con gasolina de 87 octanos, principalmente con el motor a alta temperatura que es cuando se incrementa la probabilidad de detonación y a bajas revoluciones bajo carga.

Aunque los resultados son bastante obvios se hace énfasis en la importancia de la selección del combustible idóneo para motores de mayor tamaño y principalmente para motores modernos y de alto rendimiento.

#### 1.2.1.3 Prácticas de medición de consumo de aire

Estas prácticas pretenden determinar el volumen de aire que entra a la cámara de combustión bajo distintas condiciones de carga, así como las revoluciones del motor, con el objeto de verificar si son proporcionales o existen cambios. Uno de los problemas característicos de los motores de combustión interna, en especial los motores de aspiración natural (motores no turbados) es el ingreso limitado de aire a altas revoluciones. El aire tarda cierto tiempo en ingresar a la cámara de combustión y a bajas revoluciones el motor tiene tiempo suficiente para que los cilindros sean llenados completamente, sin embargo a medida que el motor aumenta sus revoluciones el tiempo para este llenado se reduce y la cantidad de aire en el cilindro disminuye, por consiguiente la relación de compresión se ve afectada y con ello el rendimiento del motor.

Aunque la pérdida de potencia por falta de llenado de los cilindros afecta únicamente a altas revoluciones, es importante encontrar el número de revoluciones exactas a las que el motor encuentra el decremento de potencia, que es la razón por la cual no tiene objeto acelerar un motor a excesivas revoluciones. Por otro lado, es importante encontrar la manera de mejorar el llenado de la cámara de combustión, ya sea modificando el sistema de alimentación de combustible (Carburador, inyección, sobrealimentación por ej.) o modificando el sistema valvular del motor (mayor número de válvulas, válvulas más grandes, múltiples de admisión de mejor diseño, apertura de válvulas inteligente, etc.).

En estas prácticas se pretende dar a conocer el equipo de medición de consumo de aire, que en conjunto con los otros equipos de medición nos proporcionaran la información necesaria para establecer la velocidad más rentable en cuanto a decremento de potencia por falta de llenado en nuestro motor didáctico.

### 1.2.2 Campo de aplicación de las prácticas de laboratorio

El motor didáctico, esta complementado con una serie de instrumentos de medición que permiten al estudiante llevar a cabo distintos tipos de experimentos para que el mismo se familiarice con los motores de combustión y el trabajo que un ingeniero debe efectuar en estas máquinas para optimizar su funcionamiento obteniendo el máximo de potencia con el menor consumo de combustible.

El joven ingeniero debe saber que su trabajo en los motores no se limita al trabajo técnico (reparaciones y servicios), y que su

responsabilidad laboral será principalmente analítica y de supervisión, por lo que el presente trabajo pretende ejemplificar estas labores aunque a un nivel sencillo y didáctico.

El campo de aplicación de estas prácticas de laboratorio es tan amplio como la aplicación que tienen hoy en día los motores de combustión, por lo que concluimos que esta puede ir desde estudios y experimentos de rendimiento en motores de baja cilindrada como plantas, flotillas de vehículos, motores estacionarios, hasta motores industriales a nivel de generación, transporte pesado y súper pesado, sector agrícola, motores marinos, etc. que prácticamente cubre toda la gran industria. (Ingenios, plantas recicladoras, fabricación de alimentos, beneficios, plásticos, lácteos, etc.

Tomando en consideración las posibles mediciones a efectuar en los motores se puede llegar a optimizar el rendimiento de los mismos hasta en un 20%, aparte de la economía que se puede lograr afinando todos los sistemas mecánicos y auxiliares de los motores, tales como el sistema de lubricación, refrigeración, reglaje de encendido y condiciones mecánicas generales. También se puede minimizar la contaminación y polución que los motores aportan al ambiente cuidando de que la mezcla sea justa (parte mecánica y electrónica) así como que esta se de bajo condiciones propicias (temperatura, lubricación, número de revoluciones, carga máxima permisible, filtración de partículas, entre otras.

Se considera que los motores, aunque tienen un diseño de fábrica que en la mayoría de casos es óptimo, se pueden hacer análisis para que el impacto de los factores externos al motor y las condiciones bajo las cuales estos son operados y manipulados sean las adecuadas y permitan

mejorar aun el rendimiento de estos y prolongar las paradas para servicio. Ajeno a las modificaciones que se puedan llevar a cabo, el estudio de las condiciones de operación puede dar óptimos resultados en la vida útil de los motores así como de su eficiencia.

Sin lugar a dudas un alto porcentaje de los motores que trabajan en este momento lo hacen con una deficiente afinación, desgaste prematuro de sus componentes, intervalos de servicio exageradamente prolongados, operación inadecuada y sobrecarga, lo que incide a la larga en altos costos de reparación y desperdicio de combustible. Claro está que sin ir muy lejos los vehículos de turismo en su mayoría pueden tener una vida útil de hasta 10 o más años y es muy común que a los tres años ya presentan una baja en rendimiento considerable y un aumento tanto del consumo de combustible como de la contaminación que producen. Los motores industriales aunque se les aplica un mantenimiento más constante, no escapan al descuido y a la mala operación además de sufrir condiciones adversas de ambiente y factores físicos. Es por ellos que los motores cada vez con tecnología más avanzada limitan algunas prácticas del operador, quedando controladas estas por un computador o actuadores electrónicos inteligentes tales como el uso de inyección electrónica.

El laboratorio de motores de combustión interna, más que una descripción del funcionamiento y mantenimiento de los motores, persigue que es estudiante se compenetre en los factores que influyen en el funcionamiento de los mismos y que en un futuro puedan llevar a cabo experimentos, pruebas y estudios que permitan aumentar el rendimiento de éstos.

### 1.2.3 Desarrollo de las prácticas de laboratorio

Las prácticas de laboratorio serán efectuadas por los estudiantes en el horario establecido bajo la supervisión del catedrático del laboratorio, utilizando debidamente el equipo de medición para cada uno de los factores a considerar. Las prácticas son sencillas y no consumen gran cantidad de tiempo, lo que permitirá que los estudiantes puedan tener tiempo suficiente en la observación de los experimentos durante los periodos asignados de clase.

La parte analítica, que comprenderá los cálculos así como el trazo de curvas y gráficas para establecer las debidas conclusiones se catalogará como tarea y podrá ser efectuada en grupo o individual, de tal manera que al finalizar el estudiante habrá asimilado un conocimiento útil y necesario como futuros ingenieros Mecánicos.

## 2. FASE TÉCNICO - PROFESIONAL

### 2.1 Historia de los motores

El motor de combustión interna fue inventado a finales del siglo XIX, aunque fueron varios los ingenieros que colaboraron en su diseño y creación, al que se le otorgó la patente del motor de cuatro tiempos fue a Nikolaus August Otto. Este motor sustituyó rápidamente a las máquinas de vapor del momento que aunque fueron bastante perfeccionadas, no se comparaban con el motor de combustión interna por su tamaño compacto y versatilidad. Originalmente este motor era de un solo cilindro y producía muy poca potencia, también se averiaba constantemente y el primitivo motor apenas desarrollaba uno o dos caballos de fuerza, aun así fue utilizado para transporte y con el tiempo se fue perfeccionando a tal grado que ya no solo se utilizaba en vehículos sino que pronto surgieron diversas aplicaciones que acrecentaron su demanda.

Con el avance del siglo la ciencia también logró avances significativos en el área de la electricidad y con ello surgieron los motores eléctricos que aunque son silenciosos y altamente eficientes eran poco aplicados en vehículos por el problema que representa el hecho de no poder almacenar la corriente eléctrica como se puede hacer con los combustibles, problema que prevalece hasta la fecha. En las décadas venideras el motor de combustión interna desplazo por completo a las maquinas de vapor y a los motores eléctricos, por lo que se intensificó su perfeccionamiento hasta lograr máquinas poderosas de gran caballaje y velocidad, también hubo avances en el desarrollo de tecnología de aleaciones y materiales mas duraderos que permitían al motor ser más

ligero y soportar altas temperaturas sin sufrir daños, lo que lo hizo mas eficiente.

Con la introducción de la electrónica, el motor logró un avance más y se implementaron mecanismos de inyección electrónica así como controles computarizados de su funcionamiento lo que logro disminuir notablemente los índices de contaminación y a la vez aumentar aun más su rendimiento y aplicaciones. La crisis del petróleo en los años setenta obligo a los fabricantes a hacer esfuerzos para lograr una drástica reducción en el consumo de combustible, aunque la mayoría de medidas fueron encausadas a la reducción del tamaño de los motores así como de los vehículos y la sustitución de materiales metálicos por otros plásticos y livianos.

Al carecer de rival desde sus inicios el motor de combustión interna de gasolina conocido como de Ciclo de Otto, se han hecho estudios para crear otros motores semejantes, tal es el caso del motor Diesel, que trabaja en forma similar pero cuenta con un autoencendido inflamando la mezcla a alta presión y calentando el aire a la vez que se inyecta el combustible. El motor de gasolina también ha tenido variantes, como por ejemplo el motor de dos tiempos que hace su ciclo en tan solo dos carreras del pistón o el motor rotativo utilizado por Mazda actualmente. También se han construido motores radiales para aviación y otros sin mucho éxito como el motor stirling que utiliza un aceite térmico.

Hasta nuestros días el motor de combustión ha tenido cambios en sus sistemas auxiliares, pero no en su principio básico de operación, lo que permite creer que al motor Otto le quedan muchos años de vida. Este motor es utilizado actualmente en muchas aplicaciones que van desde

pequeños generadores portátiles, cortadoras de grama, molinos y motocicletas hasta grandes motores marinos y de generación de energía eléctrica y una variedad de equipo agrícola y de construcción. Es utilizado en cualquier aplicación que requiera una fuente de potencia independiente y constante sin necesidad de paradas recurrentes.

## 2.2 Medidas de seguridad en los motores de combustión interna

La seguridad se debe considerar como una tarea propia, y no una responsabilidad de otra persona. En el taller un individuo estará seguro cuando haya protegido sus ojos, oídos, dedos, manos, etc. de todo peligro. Pero también se debe velar por la seguridad de quienes están alrededor.

La seguridad es de suma importancia en todo lo que se hace, aunque lamentablemente en muchos talleres e incluso grandes industrias se tiene en último lugar. La mayoría de accidentes se producen por descuido, ignorancia y en algunos casos, por simple negligencia. El ser humano instintivamente es precavido ante ciertas situaciones peligrosas como la altura, el fuego, la velocidad y las cosas que no conoce. Sin embargo los accidentes suelen ocurrir cuando se presentan actos y condiciones inseguras que representan peligro y que provocan accidentes en forma repentina, lo que muchas veces limita la respuesta de los individuos a percatarse de dichas situaciones. En general, las medidas de seguridad que se toman instintivamente no pueden evitarlos. En la mayoría de los casos de accidentes la víctima reconoce que existe un riesgo pero, en su afán de terminar el trabajo, prosigue insensatamente en la tarea. Si de alguna manera se pudiera detener a tales individuos por un



momento, tendrían tiempo de considerar objetivamente la situación, percatarse del peligro y tomar las precauciones necesarias.

Es de conocimiento de todos que las estadísticas de accidentes e incidentes en muchos talleres y plantas son muy altas, en muchos casos porque implementar un plan de seguridad representa un costo de inversión, sin embargo no hace falta hacer estudios para concluir que el costo de consecuencia de no implementar normas que aseguren el trabajo de los operadores es mas alto y con resultados fatídicos incluso.

Los motores y en particular el trabajo en el taller o en un laboratorio donde las maquinas son el objeto de estudio, requiere especiales cuidados y precauciones ya que es común trabajar con equipos a altas temperaturas, materiales y líquidos combustibles, vapores inflamables, cables con tensión, herramientas manuales y eléctricas, equipos y objetos colgados o colocados descuidadamente en el piso, poco espacio, ventilación deficiente, etc. Razón por la cual cada persona debe ser responsable de su seguridad y de la de los demás mientras opere equipo y trabaje en el laboratorio.

**Figura 1. Equipo de protección Personal.**



### 2.2.1 Almacenamiento y manejo de gasolina

El uso de la gasolina esta tan generalizado en el taller, que muchos olvidan lo muy peligrosa que es, si no es manipulada con un cuidado particular, ya que una chispa o una cerilla encendida en un recinto cerrado repleto de gasolina vaporizada puede ser causa de una explosión. Igualmente con la chispa procedente de un interruptor de la luz puede originar una explosión. Siempre se deberá proceder con mucha cautela en el uso de la gasolina. A continuación damos algunas indicaciones:

Habrán vapores de gasolina a nuestro alrededor si se ha derramado gasolina o hay fugas en una tubería de combustible. Lo que procede en ese entonces, es tener la ventilación adecuada y mantener al mínimo dichos vapores. Limpiar inmediatamente la gasolina derramada y poner a secar al exterior los trapos usados o depositarlos en un recipiente metálico cerrado.

Nunca fumar o encender cigarrillos en las proximidades de la gasolina.

Cuando deba trabajar en una tubería de combustible con fugas, en un carburador o en una bomba de combustible, recoja la gasolina esparcida en un recipiente o mediante trapos. Nunca motive chispas en la proximidad del motor y cuídese de la electricidad estática. Cuide de no hacer arcos eléctricos en la batería o a la hora de colocar una lámpara de tiempo en el motor.

Se debe tener la gasolina almacenada en un recipiente plástico especialmente fabricado para ello. Nunca se debe depositar la gasolina en un recipiente de vidrio, ya que podría romperse y causar una explosión o incendio. Trate la manera de evitar en lo posible el almacenaje de

gasolina en el laboratorio cuando no sea de carácter necesario, y nunca la utilice como disolvente o líquido para limpiar. Guarde la gasolina lejos del calor, llamas, equipos de soldadura y paneles eléctricos. Nunca vierta gasolina al tanque de un motor mientras este se encuentra en marcha, sobre todo si el tanque se encuentra a poca distancia del motor, ya que si la gasolina cae sobre alguna superficie a alta temperatura se podría inflamar en forma espontánea.

Los trapos impregnados de aceite o grasa también pueden ser causa de incendio. Pueden prender fuego a veces sin la existencia de chispas o llamas, estos trapos aceitosos, así como los aceites usados se deben depositar en envases metálicos especiales en los cuales se evite que puedan producir peligro.

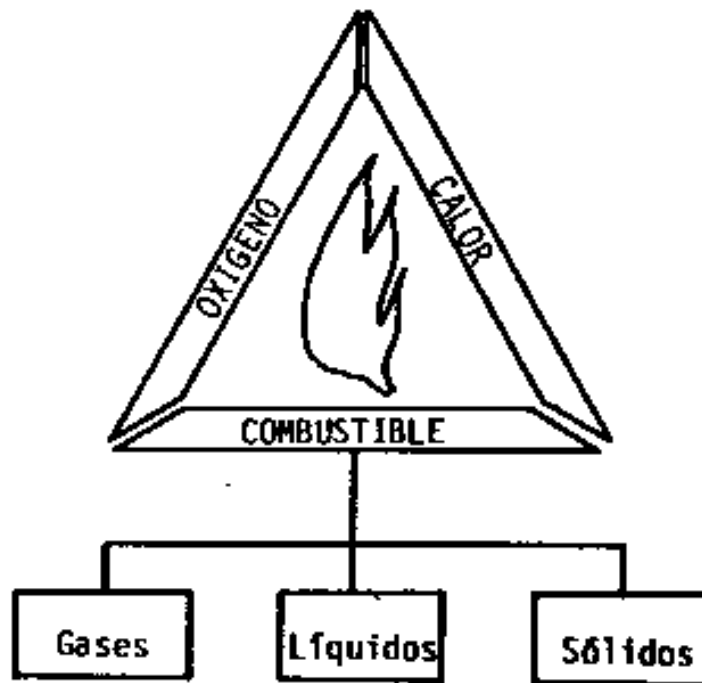
Cuando la gasolina se vierta de una vasija metálica al tanque de un motor, compruebe que el pico de la vasija se apoye firmemente sobre el borde metálico de la abertura o boca del tanque. Si se evita que se produzca una chispa por electricidad estática. Puede ser peligroso utilizar gamuza como filtro, ya que se corre el peligro de ocasionar descargas de electricidad estática.

### 2.2.2 Tipos de incendios y extinguidores

Los incendios son accidentes que las personas suelen creer que nunca sucederán. Sin embargo en un lugar donde se manipulan combustibles es altamente probable que sucedan. El mayor problema de un incendio es la rapidez con que se propaga si encuentra materiales combustibles a su paso, que puede ser cartón, madera, plásticos y gasolina. Una desventaja

es que en la mayoría de lugares se carece de un extintor y en donde se tienen, están descargados o peor aún los operarios no saben utilizarlos.

**Figura 2. El triángulo del fuego.**



La mayoría de incendios pertenecen a una de las tres categorías siguientes, relativas a los materiales inflamables o causantes de fuego:

CLASE A: Madera, tela, papel, basura.

CLASE B: Gasolina, aceite, grasa, pintura

CLASE C: Equipo eléctrico.

Los incendios de clase A son los menos peligrosos y destructivos ya que generalmente pueden apagarse con agua o con un extinguidor de ácido que enfría el material ardiente por debajo de su temperatura de

inflamación. El extinguidor simplemente se coloca de cabeza y el chorro se dirige hacia atrás y hacia delante en la parte inferior del fuego.

Los incendios de clase B producen más calor y requieren de un extinguidor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), este químico corta el abasto de oxígeno que alimenta el fuego. El dióxido de carbono no ayuda a la combustión y cuando reemplaza al oxígeno en el aire que rodea al fuego sofocaría efectivamente las llamas. Sin embargo, cuando se utiliza el extinguidor de dióxido se debe tener cuidado de no tocar la boquilla del mismo ya que esta se pone extremadamente fría, además en espacios cerrados y pequeños el uso del extinguidor puede hacer que escasee el oxígeno, lo que representaría un serio riesgo para quienes combaten el incendio. En tal caso se debe ventilar el área inmediatamente después de exterminar las llamas.

Los extinguidores que producen espuma también son buenos para combatir incendios clase B. Una capa de espuma con base de agua depositada sobre el material ardiente elimina el oxígeno y sofoca las llamas. En este caso se debe dirigir el chorro de espuma por encima de las llamas y dejar que esta se extienda sola sobre el área de incendio. De esta manera se evita que la espuma caiga directamente sobre el líquido inflamable y este salpique sobre las áreas contiguas.

Bajo ninguna circunstancia se debe tratar de apagar un incendio de clase B con agua, ya que el oxígeno es parte de la composición molecular del agua y podría hacer que la intensidad del fuego aumente y este se propague rápidamente.

Los incendios clase C se producen en aparatos eléctricos, por lo cual sería peligroso extinguirlos con agua, ya que se podría producir un arco eléctrico. Si el equipo está energizado, el fuego debe atacarse con extinguidores de dióxido de carbono, productos químicos en polvo o bien con líquido vaporizante. Si todo el equipo puede desconectarse de la línea de potencia, entonces se puede proceder con confianza a combatir el incendio con la sustancia que sea adecuada para el tipo de material en llamas.

Tabla I. Clasificación de los extintores según el agente extinguidor y tipo de fuego

<b>CLASE DE FUEGO</b>	<b>AGENTE EXTINGUIDOR Y CARACTERÍSTICAS</b>
<p><b>Derivados del Petróleo</b></p> <p><b>Equipos Eléctricos Energizados</b></p>	<p><b>Químico seco</b></p> <p>Básicamente Bicarbonato de potasio, sodio, Cloruro de Potasio y urea</p> <p>Descarga una nube blanca o azul. Deja residuos</p> <p>No es conductor eléctrico</p>
<p><b>Madera, papel, etc.</b></p> <p><b>Derivados del petróleo</b></p> <p><b>Equipo eléctricos energizados</b></p>	<p><b>Químico seco multiuso A-B-C</b></p> <p>Básicamente Fosfato de Amonio, descarga una nube amarilla deja residuos.</p>

Continuación:	No es conductor eléctrico
<b>Derivados del petróleo</b> <b>Equipo eléctrico energizado</b>	<b>Agentes Halogenados o Alternativas</b>  Básicamente Hidrocarburos Halogenados, descarga un vapor blanco, no deja residuos  No es conductor eléctrico.
<b>Derivados del petróleo</b> <b>Equipo eléctrico energizado</b>	<b>Bióxido de carbono</b>  Básicamente un gas inerte que descarga una nube blanca y fría, No deja residuos  No es conductor eléctrico
<b>Madera, papel tela, cartón, etc.</b>	<b>Agua</b>  Básicamente agua corriente, descarga en chorro o niebla ( Puede tener un inhibidor de corrosión que deja un residuo amarillo )  Es conductor eléctrico
<b>Metales combustibles: sodio, magnesio, titanio</b>	<b>Compuesto especial de polvo seco</b>  Básicamente Cloruro de sodio o

	materiales grafitados, el agente se descarga con un extintor en chorro o se aplica con una cuchara o pala para sofocar los metales.
--	---

### 2.2.3 El monóxido de carbono y sus efectos

El Monóxido de Carbono (también conocido como CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido. No irrita, no hace toser, pero es muy venenoso. El monóxido de carbono se produce cuando quemamos en forma incompleta combustibles carbonáceos, sólidos, líquidos o gaseosos. Puede ser que se esté respirando altos niveles de CO en los alrededores de calles o intersecciones muy transitadas o en talleres y garajes donde se operan motores de combustión interna. Otras fuentes de CO incluyen casi cualquier objeto con motor, plantas eléctricas que utilizan carbón, gas o petróleo, e incineradores de basura, fraguas, estufas y calentadores de agua. Dentro de la casa, el CO puede provenir del horno, aparato de calefacción, de una chimenea donde se queme leña o del humo de un cigarrillo.

Se emite más monóxido de carbono al aire durante los meses fríos o durante las mañanas. Esto se debe a que el combustible es consumido con menos eficacia a bajas temperaturas. Además, el aire se estanca más cuando el medio ambiente es frío. Cuando el aire se estanca no se mezcla bien, así que la contaminación se queda en el medio ambiente.

El monóxido de carbono causa más muertes por envenenamiento en el mundo cada año que cualquier otra sustancia tóxica. Muchos de estos envenenamientos ocurren en talleres y fábricas donde se utilizan motores y que no cuentan con una ventilación adecuada. El CO reduce la



cantidad de oxígeno que llega al cerebro, corazón y el resto del cuerpo. Cada ser viviente necesita oxígeno para vivir y por medio de la respiración el oxígeno llega al interior del cuerpo. Cuando una persona inhala el aire hasta sus pulmones, el oxígeno viaja del aire a la sangre. Una vez que el oxígeno se encuentra en el cuerpo, este requiere de ayuda para llegar a donde necesita ir. Para ello existe una molécula especial de transportación que se llama hemoglobina, y es el elemento respiratorio de los glóbulos rojos. La hemoglobina se encarga de tomar el oxígeno y de entregarlo a las partes del cuerpo que lo necesitan. Si hay altos niveles de CO en el aire, entonces el oxígeno no es repartido ya que molécula encargada de repartir oxígeno (hemoglobina) puede repartir oxígeno o CO, pero tiene una afinidad mayor con el CO, casi 300 veces más que con el oxígeno. Cuando una persona respira aire que contiene CO, este desplaza al oxígeno y toma su lugar. La hemoglobina toma el CO y lo reparte en lugar de oxígeno. Esto significa que cuando el CO está presente, la hemoglobina entrega menos oxígeno al cuerpo. El cerebro y el corazón necesitan mucho oxígeno y no funcionan normalmente cuando una persona respira CO. Si alguien se expone a altos niveles de CO, puede experimentar dificultades al respirar o ligeros dolores de cabeza. Los síntomas del envenenamiento por monóxido de carbono son sensación de tirantez en la piel de la frente seguida de palpitaciones en las sienes, debilidad, fatiga, dolor de cabeza, vértigo, náusea, control muscular deficiente y ritmos cardíaco y respiratorio acelerados, mareos, visión borrosa y pérdida de agilidad mental, si la persona sigue inhalando CO, puede llegar a la muerte.

El problema es que el CO no puede ser percibido por los sentidos, ya carece de olor color y es insípido. En espacios cerrados es esencial eliminar los humos o gases desprendidos de combustibles parcialmente

quemados, proporcionando una buena ventilación o conduciendo al exterior los gases de escape por medio de tubos, chimeneas, ductos o ventiladores. Los motores de combustión interna no deben ponerse en marcha en espacios cerrados o limitados, amenos que cuenten con un sistema de escape adecuado y que se ha comprobado que dicho sistema funciona exitosamente. Todos los motores y las máquinas o aparatos que despidan monóxido deben mantenerse bien ajustados y afinados, a fin de reducir al mínimo el CO que se produzca en ellos.

### 2.3 Conceptos básicos

Las palabras trabajo, potencia y energía son palabras comunes en el vocabulario común de cualquier persona, sin embargo desde el punto de vista de la física estas palabras tienen un significado científico y una definición exacta. Para comprender los principios básicos de funcionamiento de los motores de combustión es necesario que el estudiante comprenda estas definiciones a cabalidad ya que serán citadas en numerosas ocasiones durante el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

#### 2.3.1 Trabajo

La palabra trabajo siempre está ligada al concepto de esfuerzo, dificultad o a la transformación de un objeto en su forma física. Es una palabra que se usa a diario con significados diferentes. En Física la palabra trabajo tiene un significado mucho mas preciso.

El trabajo se define como la energía empleada o consumida para mover un objeto a lo largo de determinada distancia. En resumen el

trabajo es el producto de la fuerza por la distancia, de tal manera que se puede definir mediante la siguiente fórmula:

$$W = F * d$$

Donde W es el trabajo, F la fuerza aplicada y d es la distancia recorrida. Si se trabaja en el sistema internacional de medidas, la distancia generalmente se expresa en metros (m) y la fuerza en Kilogramos (Kg.). El producto de estas dos dimensionales o sea el trabajo debe ser expresado por consiguiente en Kilogramo – metro. Pueden ser utilizadas otras unidades, tales como centímetros, y el trabajo sería expresado en Kilogramo – centímetro o si la fuerza fuera expresada en gramos, el trabajo resultaría en gramos-centímetro. En conclusión la unidad de trabajo es siempre una combinación de las unidades empleadas para fuerza y distancia. En nuestro medio y para objeto de estudio en motores y máquinas similares la unidad que frecuentemente se utiliza es el kilogramo-metro o la libra-pie para el sistema inglés. En el sistema internacional la unidad de fuerza es el newton, que es la fuerza necesaria para impartir a un cuerpo cuya masa es la de un kilogramo (masa) una aceleración de un metro por segundo. La unidad de distancia es el metro también y, por lo tanto, el trabajo en este sistema se mide en newton – metro o Joules. Un joule equivale a 0.102 kilogramo metros, o bien  $1\text{kgm} = 9.8\text{ Joules}$ .

#### 2.3.1.1 unidades de trabajo

Sistema C.G.S..... Ergio

Sistema M.K.S..... Julio

Ergio: es el trabajo efectuado por la fuerza de una DINA, cuando el punto material a que se le aplica, se desplaza un metro.

Julio: es el trabajo efectuado por la fuerza de un Newton, cuando el punto material a que se le aplica, se desplaza un metro.

Como unidad secundaria de trabajo existe también el kilográmetro o sea el trabajo realizado por la fuerza de un kilogramo a lo largo de un metro de distancia. Se aclara que el kilogramo no es la unidad que corresponda a ninguno de los sistemas de unidades que hemos venido empleando y que mas bien es la unidad industrial de trabajo.

Movimiento y trabajo. Conviene anotar que no puede darse el caso de trabajo real sin movimiento; pero si, el movimiento sin trabajo, al menos en teoría. En la práctica se da el caso de movimiento con muy poco trabajo.

Sobre un plano perfectamente horizontal, y sin rozamiento, bastaría el más leve impulso para dar a una esfera cierta velocidad, la cual, por la inercia, se conservaría indefinidamente, sin ningún trabajo. Hubo si, un trabajo, mientras obro la fuerza del impulso inicial pero después, ya no hay trabajo. Lo mismo sucede en el movimiento circular; pues, de hecho no hay desplazamiento del móvil, (que es donde esta el punto de aplicación de la fuerza) en dirección radial.

### 2.3.2 Potencia

La palabra “potencia” es utilizado para múltiples situaciones similares a las de la palabra “trabajo”. Cuando un vehículo posee un motor de gran tamaño se dice que es “potente”, una persona que levanta artículos muy pesados o que hace mucho ejercicio también suele ser

llamada “potente”. Sin embargo en física la palabra “potencia” también tiene una definición exacta al igual que la palabra “trabajo”.

El concepto de trabajo ya ha sido explicado, a pesar de esto el trabajo puede ser realizado en un segundo o llevarse 10 segundos. Aquí hemos incluido un factor importante: el tiempo. Un trabajo puede ser hecho en un determinado tiempo o en el triple de este tiempo, pero esto no quiere decir que se hizo menos o mas trabajo, el trabajo hecho siempre será el mismo no importando cuanto tiempo se haya demorado. Pero para evaluar el rendimiento de los motores necesitamos la medida del tiempo en que los mismos se tardan en realizar un trabajo. El concepto que incorpora el elemento tiempo es la potencia.

La potencia expresa la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo y se describe como la rapidez con que se efectúa el trabajo. Puesto que la potencia es una medida del trabajo realizado en un cierto tiempo, lo anterior puede expresarse con una fórmula:

$$P = W/t$$

O su equivalente:

$$P = (F * d) / t$$

Donde P es potencia, W trabajo y t tiempo.

En el valor de trabajo mecánico realizado por el hombre o por una máquina, el factor tiempo no tiene ninguna influencia, o sea que el trabajo es independiente del tiempo empleado para efectuarlo.

Así por ejemplo, para elevar 200 ladrillos a 5 mts. de altura el trabajo que realiza no cambia de valor así se emplee en la mencionada operación dos horas, dos días o dos meses. Sin embargo en la actividad industrial no solo es necesario realizar cierta clase de trabajos, sino que es indispensable tener en cuenta el tiempo durante el cual el trabajo debe ser realizado. A quien construye una casa o eleva agua con una bomba, no solo le interesa efectuar el trabajo propiamente enunciado, sino que es indispensable tener en cuenta el tiempo durante el cual el trabajo debe ser terminado.

Si dos personas o máquinas realizan el mismo trabajo (elevar 200 litros de agua a 10 mts. de altura) empleando cada una de ellas diferente tiempo, físicamente se le califica diciendo que hicieron el mismo trabajo ( $W$ ); pero si una de estas personas realiza la mencionada operación en dos horas y la otra en cinco horas, físicamente se dice que la primera tiene mayor potencia que la segunda.

Así, cuando se trata de las máquinas, y de un mismo trabajo, se aprecia como el doble de la potencia que lo ejecuta en la mitad del tiempo, se llama doble o triple la potencia que ejecuta un trabajo doble o triple.

La definición de potencia cita el siguiente enunciado: es una magnitud directamente proporcional al trabajo, e inversamente proporcional al tiempo correspondiente.

La potencia de un mecanismo es un concepto muy importante pues en un motor, por ejemplo lo que interesa no es la cantidad total de trabajo que

puede hacer hasta que se descomponga sino la rapidez con la que pueda entregar el trabajo o sea el trabajo que puede hacer en cada unidad de tiempo, que es precisamente la potencia.

### 2.3.2.1 Unidades de potencia

Siendo la potencia, el trabajo realizado en la unidad de tiempo, se tendrán como sus unidades.

Sistema C.G.S..... Ergio/seg.

Sistema M.K.S.....Julio/seg. = vatio

Como unidades secundarias de potencia, se emplean:

- kilográmetro/segundo..... kmg/seg.
- El HP..... 75 kgm/seg.
- El kilo-watt..... 1000 vatios

El vatio: es la potencia necesaria para realizar el trabajo de un julio, en un segundo. Es la unidad del sistema práctico, usual también en medidas eléctricas. 1 kilovatio=1000 w =1,36 H.P.

El kilogramo por Segundo: es la unidad de potencia en el sistema técnico. Es la potencia necesaria para hacer el trabajo de 1 kg. durante un segundo. Prácticamente, es la potencia que se emplea para levantar un kg. a un metro de altura, en un segundo.

El caballo de vapor, británico, se definió como igual a 33000 footpounds por el minuto, o sea 550 pies-libra por segundo. El caballo de vapor, métrico, se define como igual a 75 kg. /s, y así, es la potencia necesaria para elevar, en un segundo, 75 Kg. A un metro de altura.

Unidades de trabajo derivadas. Hay algunas unidades de trabajo cuya definición depende de otras unidades de potencia. Así, el vatio hora es el trabajo correspondiente a una potencia de un vatio utilizada durante una hora. Es decir: un julio por segundo durante una hora, ósea: 3600 julios.

El freno de prony. Se utiliza para medir la potencia de los motores. Por medio de el se aprecia el trabajo ejecutado en cierto tiempo, y de ahí se deduce la potencia de un motor.

### 2.3.3 Energía

Se entiende por energía la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo. Como consecuencia de este concepto la energía de un cuerpo o sistema se mide por el trabajo que el cuerpo o sistema realice. La energía que es una puede presentarse bajo diferentes formas como: energía química, luminosa, sonora, mecánica, radiante, nuclear, etc.

El análisis de la energía ha sido uno de los temas más importantes en la evolución de la ciencia, ya que ningún problema de la física puede desligarse de ella.

Definición: La palabra energía representa a todo lo que es trabajo, o que puede convertirse en trabajo. Un cuerpo, o un sistema de cuerpos posee energía cuando es capaz de desarrollar algún trabajo.



Se divide la energía en cinética y potencial. Energía cinética es la que de hecho aparece como trabajo. Tal es la del agua que mueve una turbina; o la de una bomba que estalla. Energía potencial es la que no se está convirtiendo en trabajo real, pero puede convertirse en él; como la de un resorte comprimido, la de una nube electrizada; o la del agua en una represa.

Como formas de energía mecánica, que es nuestro punto directo a estudiar, se conocen:

- Energía cinética
- Energía potencial

#### 2.3.3.1 Energía cinética

Es la capacidad que poseen los cuerpos en movimiento para producir un trabajo; como ejemplos de esta clase de energía podemos citar. Corriente de agua o aire, proyectil disparado, tren en marcha, ciclistas en carrera, etc.

En todos estos ejemplos citados, los cuerpos se encuentran en movimiento y con capacidad sobrada para realizar un trabajo.

Nuestra definición de trabajo como la fuerza multiplicada por la distancia ha sido ideada para que concuerde con el concepto de que cantidades iguales de combustible suministraran cantidades iguales de energía.

### 2.3.3.2 Energía potencial

Es la capacidad que tienen los cuerpos para producir un trabajo, en virtud de su forma o de la posición que ocupan. Un cuerpo que se encuentra a cierta altura (martillo) y se deja caer, es capaz de realizar un trabajo, como por ejemplo clavar una estaca. Los grandes depósitos de agua situados a considerable altura (represa) son una verdadera fuente de energía potencial.

En efecto, si el agua se conduce por tuberías adecuadas es posible activar turbinas que permitirán la realización de grandes trabajos.

### 2.3.3.3 Conservación de la energía

Las transformaciones anteriores significan que toda la energía cinética se puede convertir en energía de posición, y toda esta en cinética, sin que desaparezca un solo ergio. Es la misma cantidad de energía que se transforma.

Observaciones semejantes y rigurosas medidas hechas con todas las formas de energía que se encuentran en la naturaleza han llevado a los físicos a la siguiente convicción experimental firmísima:

En la naturaleza no se puede ni crear ni aniquilar la energía, sino únicamente transformarla.

### 2.3.4 Par motor

El par motor es la fuerza que es capaz de ejercer un motor en cada giro. El giro de un motor tiene dos características: el par motor y la velocidad de giro. Por combinación de estas dos se obtiene la potencia.

Un ejemplo práctico para comprender la diferencia entre par y potencia lo podemos observar en los pedales de una bicicleta; en donde el motor sería la persona que pedalea, y el par motor, en ese caso, la presión o fuerza que ejerce sobre los pedales. Si por ejemplo, la persona conduce su bicicleta a una determinada velocidad fija, digamos unos 15 km. /h, en un piñón bajo, dando 30 giros o pedaleadas por minuto; estaría generando una potencia determinada; y si cambia a un piñón alto, y reduce a 15 las pedaleadas por minuto, estaría generando la misma potencia, pero el doble de par; pues deberá hacer el doble de fuerza con cada pedaleada para mantener la velocidad de 15 klm. /h.

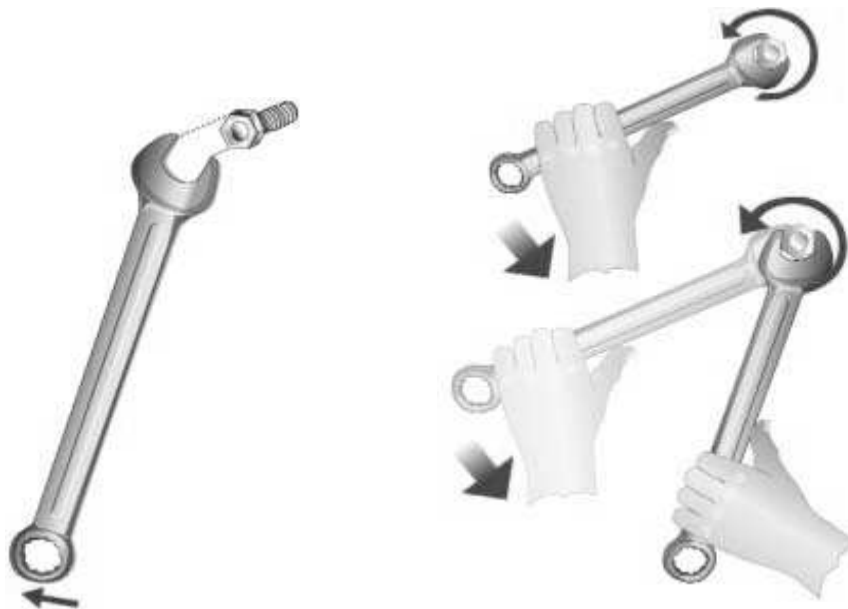
El par motor viene determinado en los motores de combustión por el aporte de combustible, la mayor presión del acelerador o la mayor cantidad de leña en la caldera de una máquina de vapor.

En los motores eléctricos, si se mantiene constante la tensión, el par aumenta para mantener la velocidad cuando la resistencia al giro es mayor, mediante el aumento de la corriente consumida.

En los motores de vapor y eléctricos el par máximo es constante a lo largo de todo el régimen de revoluciones. En los motores de pistones, en cambio, hay partes del régimen de revoluciones en las que el par máximo es mayor que en otras. Esto viene determinado sobre todo por la distribución de válvulas.

En las turbinas de gas la curva que dibuja el par máximo a lo largo del régimen de revoluciones es más abrupta. Por este motivo, y por su "pereza" a la hora de cambiar de régimen, las turbinas de gas se utilizan casi siempre a régimen constante fijo.

**Figura 3. Par motor**



Es interesante resaltar que el máximo aprovechamiento del combustible se consigue alrededor del régimen de par máximo y con el motor casi a la máxima carga, es decir dando el par máximo

El cigüeñal convierte esta fuerza vertical en rotación gracias a sus codos, distribuyendo a esta fuerza por igual en su movimiento rotativo. La medida del codo del cigüeñal es fundamental para determinar el par motor, ya que transforma la fuerza lineal recibida del pistón mediante la biela, a fuerza rotativa.

Supongamos que el cigüeñal tiene una medida de codo de 15 cm. y que la fuerza que recibe del pistón es de 10 kg., entonces el par motor será de 1.5 kgm (150 kg. x cm.) o, explicado de otra manera, el esfuerzo de giro producido por un peso de 1.5 kg. sobre una manivela de 1 metro

de longitud o el esfuerzo de giro producido por un peso de 150 Kg. sobre una manivela de 1 centímetro de longitud.

Kilográmetros no es la única medida que nos encontraremos para detallar el par motor. En Inglaterra y en Estados Unidos se expresa en pies libras, que a continuación explicamos, ya que su conocimiento es básico para distinguir posteriormente entre Caballos de Vapor (CV) y Caballos de fuerza (HP).

A título informativo diremos que James Watt inventó la máquina de vapor y calculó una unidad de medida de su potencia comparando el esfuerzo de caballos que portaban materiales con dicha máquina. La unidad que desarrolló es lógicamente el caballo de vapor.

Un caballo de fuerza (HP) Equivale a 33.000 pies-libras, es decir, 330 libras a 100 pies o explicado de otra manera: el esfuerzo que supone levantar 330 libras a 100 pies de altura.

Un pie equivale a 0.3048 metros o 30.48 cm. y una libra equivale a 0.4536 kilogramos o 453.6 gramos. Ahora con estos datos calculemos la relación entre Kilogramos x metro y pies-libras.

$$1 \text{ pie-libra} = 330 \text{ libras} \times 100 \text{ pies} = 33000 \text{ libras} \times \text{pies}$$
$$1 \text{ pie-libra} = 149.688 \text{ kg.} \times 30.48 \text{ m} = 4562.49 \text{ Kg.} \times \text{m}$$

Entonces obtenemos que 1 kgm es igual a 7.2 pie-libras y que 1 pie-libra es igual a 0.138 kgm.

Remitiéndonos al par motor que practicamos en un principio, de 1.5 kgm,

ahora podemos decir perfectamente que ese motor tiene un par motor de 10.8 Pies-libras, en medida inglesa y estadounidense.

Ahora que tenemos un poco más claro el concepto de par motor y las distintas unidades para poder medirlo, pasaremos a conocer la potencia del mismo.

La potencia de un motor es el resultado de multiplicar su par motor por las revoluciones a las que se desarrolla y por un factor que depende de las unidades que estemos usando. Este factor F en kgm y r.p.m es de  $1/716$  y en pies libras de  $1/5252$ .

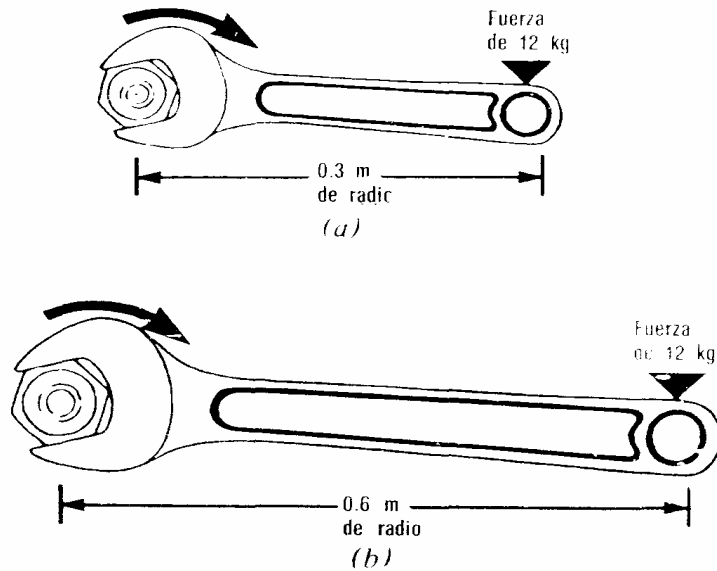
Para calcular la potencia del motor de nuestro ejemplo en CV (suponiendo que el par lo desarrolla a 3000 R.p.m), multiplicaremos el par motor de 1.5 kgm por las 3000 R.p.m y por  $1/716$ , lo que nos dará un resultado de 6.28 CV.

La misma medida de potencia, pero en Caballos de Fuerza (HP) sería de 10.8 pies-libras por 3000 R.p.m y por  $1/5252$ , lo que daría un resultado de 6.16 HP, prácticamente son iguales, la diferencia viene dada por los cálculos de conversión.

Cuando usemos datos de HP para calcular el par motor, recordaremos que el factor de conversión es de  $1/5252$  en la fórmula y que el par motor viene dado en pies-libras, de la misma forma si usamos datos de CV para calcularlo, recordaremos que el factor de conversión es de  $1/716$  y el par viene dado en kilogramos-metro.

Otra forma de medir la potencia de un motor es en Kw.  $1 \text{ Kw.} = 1.36$  (CV o HP), por lo que también podemos nombrar el resultado ejemplo que teníamos de nuestro motor (6.28 CV) en 4.61 k.o. de potencia.

**Figura 4. Efecto de la palanca en el torque.**



#### 2.3.4 Caballo de fuerza (hp).

La potencia de salida de la mayor parte de los motores se mide en caballos de potencia, unidad ideada por el escocés James Watt, inventor de la maquina de vapor mas adelantada. Se dice que cuando intento vender su invento decidió designar sus motores de acuerdo con el número de caballos a los que podían reemplazar. Halló que un caballo de tipo medio, trabajando a un ritmo constante, podía realizar cerca de 550 pies-libra de trabajo por segundo, o sea, 33,000 pies-libra por minuto. Con base en lo anterior se definió la unidad “caballo de potencia” (HP, del inglés horsepower), de manera que  $HP = 550$  pies-libra por segundo, o bien,  $1 HP = 33,000$  pies-libra por minuto. En el sistema métrico se ha definido análogamente el caballo métrico o caballo de vapor:  $1 CV = 75$  kgm/seg., o bien,  $1 CV = 4500$  kgm/min. Siendo aproximadamente iguales ambas

unidades y utilizándose por lo general el HP, emplearemos en lo que sigue la equivalencia de  $1 \text{ HP} = 76 \text{ kgm/seg.} = 4560 \text{ kgm/min.}$  Usualmente es preferible expresar magnitudes en caballos de fuerza en vez de kgm/seg. Para este fin se divide el trabajo en kgm por el producto del tiempo y el factor de conversión apropiado (76 kgm/seg. o 4560 kgm/min.).

## 2.4 Operación del motor de gasolina

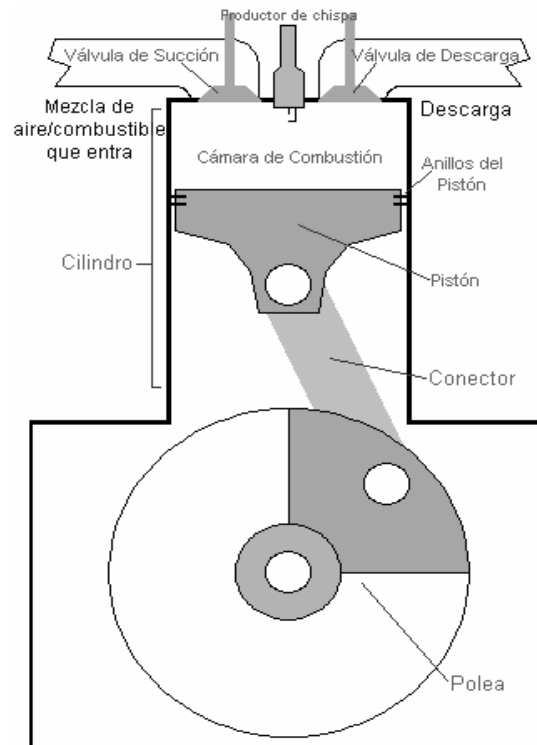
La gasolina, combustible que se obtiene mediante la destilación fraccionada del petróleo, fue descubierta en 1857. Más adelante, en 1860, Jean Joseph Etienne Lenoir y John Faust también fueron quienes crearon el primer motor de combustión interna quemando gas dentro de un cilindro.

Pero habría que esperar hasta 1876 para que Nikolaus August Otto construyera el primer motor de gasolina de la historia, de cuatro tiempos, que fue la base para todos los motores posteriores de combustión interna.

En 1885 Karl Benz comienza a utilizar motores de gasolina en sus primeros prototipos de automóviles. El motor de explosión es un tipo de motor de combustión interna que utiliza la explosión de un combustible, provocada mediante una chispa, para expandir un gas empujando así un pistón. Hay de dos y de cuatro tiempos. El ciclo termodinámico utilizado es conocido como Ciclo Otto. Este motor, también llamado motor de gasolina o motor Otto, es junto al motor diésel, el más utilizado hoy en día en automoción.



**Figura 5. Componentes básicos del motor de combustión interna**



Las diferencias principales entre el motor a gasolina y el Diesel son:

- Un motor a gasolina aspira una mezcla de gas y aire, los comprime y enciende la mezcla con una chispa. Un motor Diesel sólo aspira aire, lo comprime y entonces le inyecta combustible al aire comprimido. EL calor del aire comprimido enciende el combustible espontáneamente.
- Un motor Diesel utiliza más compresión que un motor a gasolina. Un motor a gasolina comprime a un porcentaje de 8:1 a 12:1, mientras un motor diesel comprime a un porcentaje de 14:1 hasta 25:1. La alta

compresión se traduce en mejor eficiencia. La temperatura de compresión es mucho mas elevada en un motor diesel que en uno de gasolina.

- Los motores Diesel funcionan con mayor economía que los de gasolina. No porque utilicen una clase inferior de derivado del petróleo crudo (el aceite Diesel debe cumplir altas normas de pureza, viscosidad y grado de limpieza), sino porque utiliza menor cantidad de combustible y permanece en servicio mas tiempo.

- Algunos motores Diesel utilizan inyección de combustible directa, en la cual el combustible Diesel es inyectado directamente al cilindro. Los motores a gasolina generalmente utilizan carburación en la que el aire y el combustible son mezclados un tiempo antes de que entre al cilindro, o inyección de combustible de puerto en la que el combustible es inyectado a la válvula de aspiración (fuera del cilindro).

- Los motores Diesel generalmente son más pesados que los de gasolina porque deben soportar relaciones de compresión mas elevadas. Esta es una de las razones por las que el costo inicial de los motores Diesel es más alto que el de los motores de gasolina. Un motor Diesel opera mas toscamente y es mas ruidoso comparado con uno de gasolina.

- Un motor diesel es en general más difícil de arrancar que uno de gasolina, pero proporciona un par de torque mas elevado a bajas velocidades.

- Observe que el motor diesel no tiene bujía, toma el aire y lo comprime, después inyecta el combustible directamente en la cámara de combustión (inyección directa). Es el calor del aire comprimido lo que enciende el combustible en un motor Diesel.

De cualquier forma, el inyector en un motor diesel es el componente más complejo y ha sido objeto de gran experimentación en cualquier motor particular debe ser colocado en variedad de lugares. El inyector debe ser capaz de resistir la temperatura y la presión dentro del cilindro y colocar el combustible en un fino spray. Mantener el rocío circulando en el cilindro mucho tiempo, es también un problema, así que muchos motores Diesel de alta eficiencia utilizan válvulas de inducción especiales, cámaras de precombustión u otros dispositivos para mezclar el aire en la cámara de combustión y para que por otra parte mejore el proceso de encendido y combustión.

La gran diferencia entre un motor Diesel y un motor a gasolina estaba en el proceso de inyección. La mayoría de los motores de gasolina utilizan inyección de puerto o un carburador en lugar de inyección directa. En el motor de gasolina, por consiguiente, todo el combustible es guardado en el cilindro durante el tiempo de aspiración, y se quema todo instantáneamente cuando la bujía dispara. Un motor Diesel siempre inyecta su combustible directamente al cilindro, y es inyectado mediante una parte del tiempo de fuerza. Esta técnica mejora la eficiencia del motor Diesel.

La mayoría de motores Diesel ofrecen una bujía de precalentamiento de algún tipo que tiene como finalidad elevar la temperatura de la cámara de combustión. Cuando el motor diesel está frío, el proceso de compresión no debe elevar el aire a una temperatura suficientemente alta para encender el combustible. La bujía de precalentamiento es una resistencia calentada eléctricamente que ayuda a encender el combustible cuando el motor está frío.

El combustible Diesel es más pesado y aceitoso. El combustible Diesel se evapora mucho más lento que la gasolina, su punto de ebullición es más alto que el del agua. Usted oirá a menudo que al combustible Diesel lo llaman gasoil por lo aceitoso.

El combustible Diesel se evapora más lento porque es más pesado. Contiene más átomos de carbón en cadenas más largas que la gasolina (la gasolina típica es  $C_9H_{20}$  mientras el Diesel es típicamente  $C_{14}H_{30}$ ). Toma menos tiempo refinar para crear el combustible Diesel, por lo que es generalmente más barato que la gasolina.

El combustible Diesel tiene una densidad de energía más alta que la gasolina. En promedio, un galón de combustible diesel (3'875 L.) contiene aproximadamente  $147 \times 10^6$  joules, mientras que un galón de gasolina contiene  $125 \times 10^6$  joules. Esto, combinado con la eficiencia mejorada de los motores Diesel, explica porqué los motores Diesel poseen mejor kilometraje que el equivalente en gasolina.

#### 2.4.1 Principios de operación del motor de gasolina

El concepto académico de motor es el de un mecanismo más o menos complejo con el que se produce una fuerza motriz, es decir, una fuerza capaz de provocar el movimiento de una masa. Los motores transforman la energía contenida en un combustible en fuerza motriz. El combustible que sirve a cada uno de estos tipos de motor para realizar su trabajo es normalmente gasolina de distintos grados de octanaje. Podemos decir que existen dos grandes tipos de motores que utilizan combustibles fósiles: los de combustión externa o exotérmicos y los de combustión interna o endotérmicos. En los motores exotérmicos, el combustible se inflama y explota, y es la fuerza expansiva de esta

explosión la que directamente genera la fuerza motriz. Es más sencillo entenderlo con el siguiente ejemplo: los motores a reacción utilizados en los aviones. En ellos, el queroseno es inyectado en el aire aspirado a gran presión, lo que produce su ignición espontánea, y la energía de la explosión es conducida por una gran turbina hacia atrás, con lo que se genera la fuerza de empuje que permite al avión levantarse y volar. En los motores de combustión interna, sin embargo, el combustible es quemado dentro de un recipiente, llamado cámara de combustión, por el cual se desplaza un émbolo o pistón, y delimitado por las paredes del cilindro. El pistón está unido a una biela, y ésta hace palanca sobre el cigüeñal, un eje acodado que convierte el movimiento lineal de vaivén del pistón en un movimiento de rotación continuo que será el que hará girar las ruedas. La cámara de combustión está cerrada por arriba por la culata, muy semejante a la tapa de una olla a presión. La cámara, además dispone de al menos dos orificios: uno por el que entran comburente y combustible mezclados y otro por el que salen los gases residuales resultantes de la combustión. Ambos orificios, denominados lumbreras y que suelen ubicarse en la culata, son tapados y destapados alternativamente por las válvulas, que son las responsables de hacer estanca la cámara de combustión y permitir el paso de la mezcla o los gases de escape. La diferencia esencial entre los motores exotérmicos y los de combustión interna es, pues, que en los primeros el residuo de la combustión (gases quemados) es el responsable directo del movimiento, mientras que en los segundos la combustión produce la energía que se transmite a otros mecanismos que son a su vez los encargados de aportar movimiento.

En los motores de cuatro tiempos, el trabajo se organiza en admisión, compresión, combustión y escape, lo que se considera un ciclo completo y que representa dos vueltas completas del eje cigüeñal. El ciclo empieza

cuando el pistón realiza su viaje de descenso al punto muerto inferior del cárter, generando en este movimiento una corriente de succión de aire de admisión y combustible con la que se llena la cámara de combustión con la ya mencionada mezcla. En esta primera media vuelta, la válvula de admisión ha permanecido abierta, y justo antes de que el pistón vuelva a subir (pasado el llamado Punto Muerto Inferior o PMI) se va a cerrar para permitir que en su movimiento ascendente, el pistón comprima esta mezcla contra las paredes del cilindro y la culata. Es la fase de compresión. Justo cuando se ha alcanzado la máxima relación de compresión, punto cercano al Punto Muerto Superior (PMS), es el momento de la explosión, la mezcla comprimida se inflama y se expande, provocando que el cilindro vuelva a bajar, esta vez con fuerza propia, y haciendo palanca sobre el cigüeñal. Antes de llegar al PMI, la válvula de escape se va a abrir para permitir que los gases resultantes de esta explosión salgan a la atmósfera (no sin antes ser repasados por el catalizador, que los va a convertir en menos nocivos). En la última media vuelta del ciclo, la inercia obtenida por el grupo móvil del motor es la responsable de empujar los gases.

#### **2.4.1.1** El ciclo de Otto

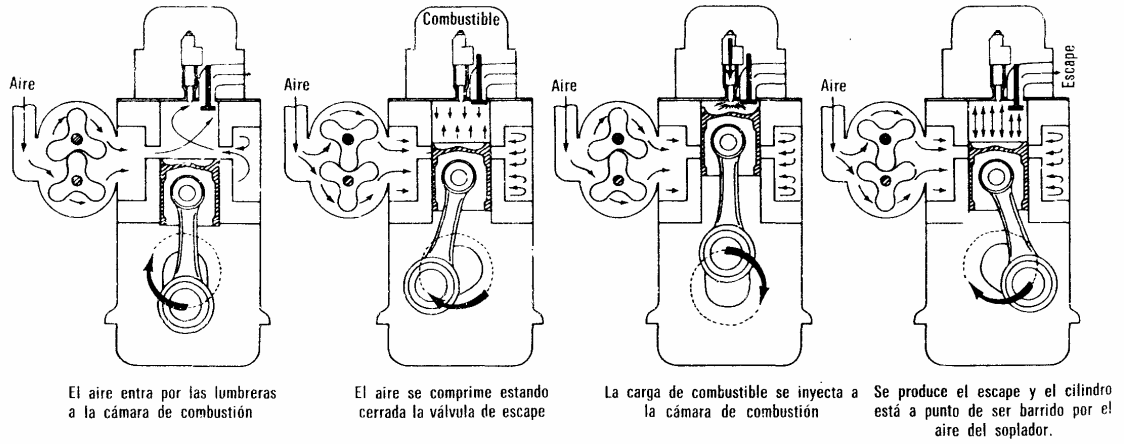
El ciclo de un motor de combustión interna puede definirse como la serie completa de acontecimientos que ocurren antes de que vuelvan a repetirse.

El motor con ciclo de 4 tiempos necesita 4 movimientos de cada pistón, dos hacia arriba y dos hacia abajo (dos revoluciones completas del cigüeñal), para completar dicho ciclo los tiempos, en el orden en que se reproducen se llaman:

- 1º. Admisión
- 2º. Compresión

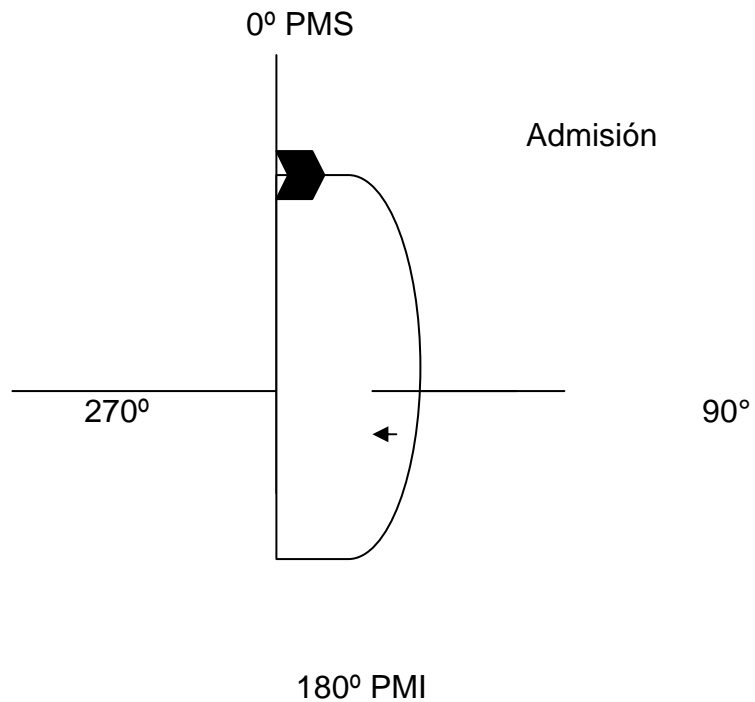
- 3°. Explosión o carrera de fuerza
- 4°. Escape o descarga

**Figura 6. Los 4 tiempos del motor de combustión interna.**



2.4.1.1.1 Primer Tiempo: La Admisión

**Figura 7. Tiempo de admisión**



La primera etapa del ciclo Otto, la de admisión, queda representada. Empieza cuando el pistón está colocado en la parte superior del cilindro. Con la válvula de escape cerrada y la admisión abierta, el pistón se mueve hacia abajo provocando la admisión al producirse un vacío parcial en el interior del cilindro, ya sea ayudado por el motor de arranque cuando ponemos en marcha el motor, o debido al propio movimiento que por inercia le proporciona el volante una vez que ya se encuentra funcionando. El vacío que crea el pistón en este tiempo, provoca que la mezcla aire-combustible que envía el carburador al múltiple de admisión penetre en la cámara de combustión del cilindro a través de la válvula de admisión abierta.

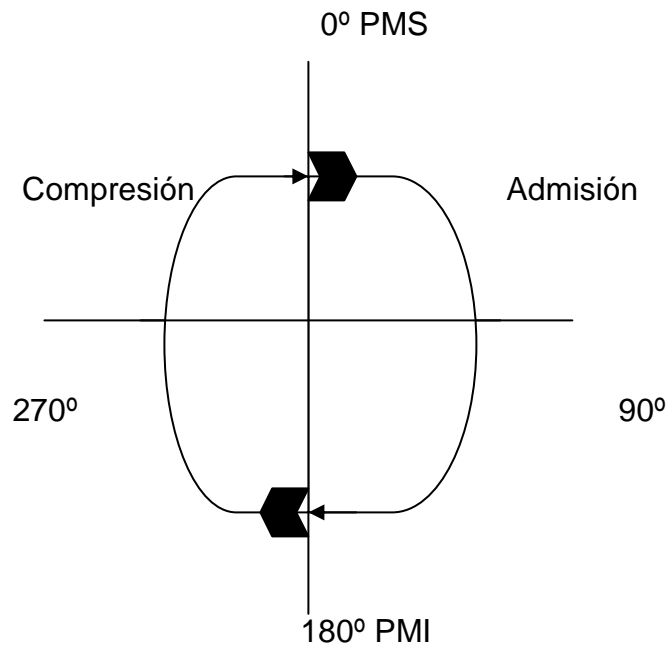
La presión atmosférica, por ser mayor que la que existe en el interior del cilindro, hace que entre aire por el carburador, donde se mezcla en proporciones adecuadas con el combustible. Esta mezcla pasa por el tubo de admisión múltiple al interior del cilindro.

Cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI) la presión en el interior del cilindro sigue siendo menor que la presión atmosférica exterior y la mezcla continua entrando en el cilindro. La válvula de admisión sigue abierta mientras que el pistón inicia el movimiento hacia arriba hasta que la posición de la leva hace que la válvula se cierre. La distancia que recorre el pistón hacia arriba hasta que cierra la válvula es realmente muy pequeña.



#### 2.4.1.1.2 Segundo tiempo: la compresión

**Figura 8. Tiempo de compresión.**

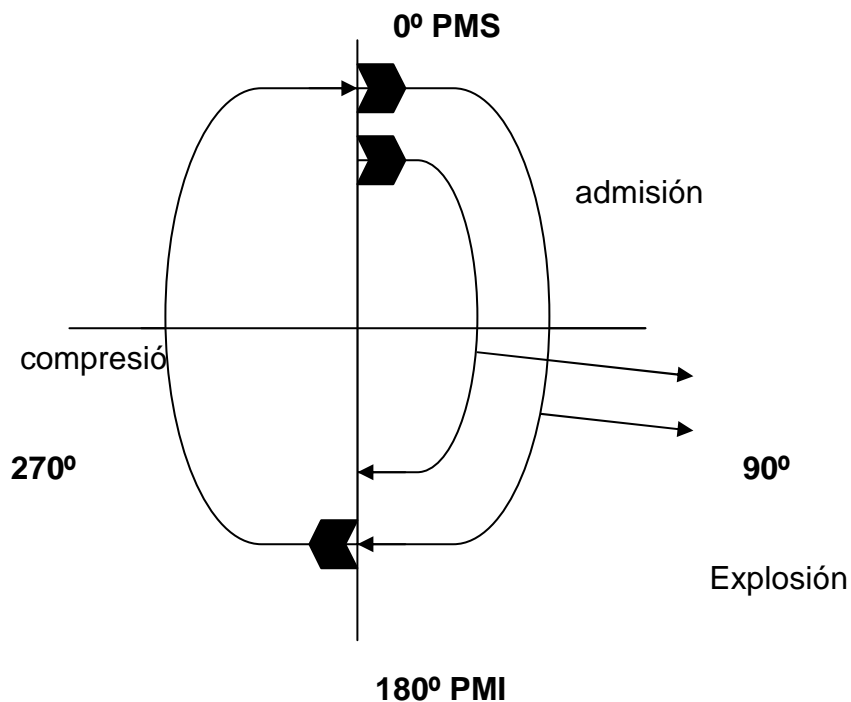


La compresión en un motor de 4 tiempos, sigue inmediatamente la admisión. Una vez que el pistón alcanza el **PMI** (Punto Muerto Inferior), el árbol de levas, que gira sincrónicamente con el cigüeñal y que ha mantenido abierta hasta este momento la válvula de admisión para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en el cilindro, la cierra. Ambas válvulas están cerradas y la mezcla de combustible queda en el cilindro que ahora está cerrada. En ese preciso momento el pistón comienza a subir comprimiendo la mezcla de aire y gasolina que se encuentra dentro del cilindro. El pistón al moverse hacia arriba dentro del cilindro comprime la mezcla combustible al terminar esta etapa el pistón

ha completado dos movimientos, uno hacia abajo y el otro hacia arriba y el cigüeñal un círculo completo o sea 360°.

#### 2.4.1.1.3 Tercer tiempo: La fuerza

**Figura 9. Tiempo de fuerza**

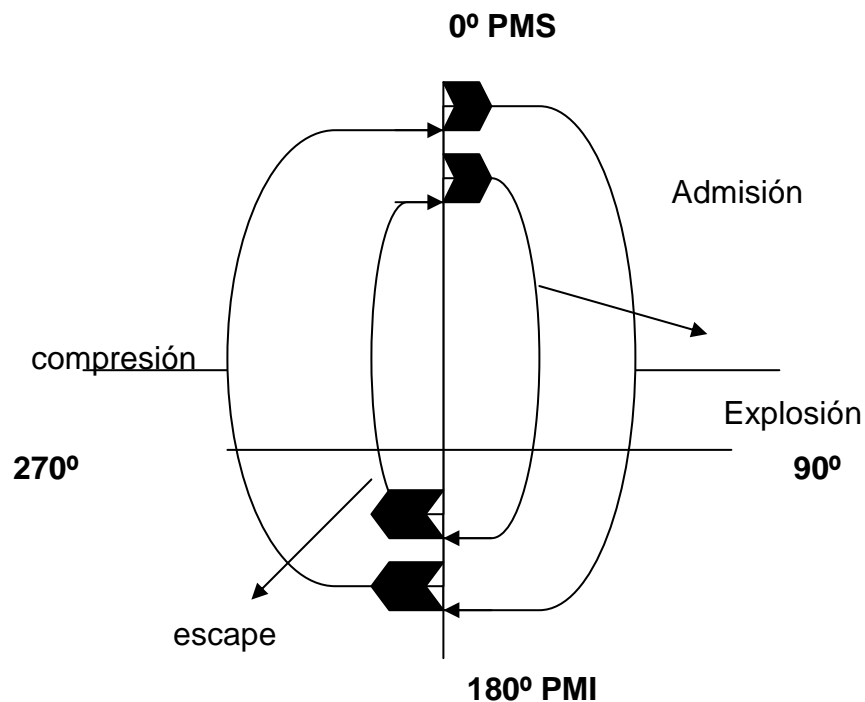


Cuando el pistón ha llegado al punto muerto superior (PMS) la mezcla combustible que entró al cilindro durante la admisión ha quedado comprimida y ha alcanzado el máximo de compresión. En este momento del ciclo dicha carga combustible se inflama por medio de una chispa producida por la bujía y se hace que explote con lo que surge la combustión. Debido al calor generado por la combustión, (aproximadamente de 4000 a 4500 °C . Se expanden los gases y se produce una alta presión en el interior del cilindro. Esta presión actúa en forma de “de empuje” contra la cabeza del pistón, obligando a bajar al pistón. La fuerza de la explosión obliga al pistón a bajar bruscamente y

ese movimiento rectilíneo se transmite por medio de la biela al lo que constituye el cigüeñal. La transmisión de la energía al cigüeñal se torna entonces en forma de fuerza de torsión o rotatoria.

#### 2.4.1.1.4 Cuarto tiempo: El escape

**Figura 10. Tiempo de escape.**



Cuando el pistón se acerca al punto muerto inferior (PMI) después de ocurrido el tiempo de explosión, la posición que corresponde al fin de la energía, el árbol de leva, que se mantiene girando sincrónicamente con el cigüeñal abre en ese momento la válvula de escape y los gases acumulados dentro del cilindro, producidos por la explosión, son arrastrados por el movimiento hacia arriba del pistón, atraviesan la válvula de escape y salen hacia la atmósfera por un tubo conectado al múltiple de escape, con esto se disminuye la presión en el interior del cilindro. Esta

válvula permanece abierta mientras el pistón se mueve hacia arriba, hasta que llega al punto muerto superior (PMS). Cuando el pistón alcanza la posición más alta se cierra la válvula de escape. En la mayoría de los motores la válvula de escape se cierra poco después de alcanzado el punto muerto superior (PMS), antes de que el pistón llegue a la parte superior en la admisión empieza a abrirse la válvula de admisión, esta permite que esté abierta totalmente cuando el pistón baja de nuevo para iniciar la admisión siguiente.

De esta forma se completan los cuatro tiempos del motor, que continuarán efectuándose ininterrumpidamente en cada uno de los cilindros, hasta tanto se detenga el funcionamiento del motor.

#### 2.4.1.2 Ciclo de Otto teórico

**Figura 11. Ciclo Otto.**



Esa representación gráfica se puede explicar de la siguiente forma:

0-1. Admisión (Isobarico): se supone que la circulación de los gases sobre la atmósfera al interior del cilindro se realiza sin rozamiento, con lo que no

hay pérdida de carga y, por tanto, la presión en el interior del cilindro durante toda esta carrera se mantiene constante e igual a la atmosférica. La línea amarilla representa el tiempo de admisión. El volumen del cilindro conteniendo la mezcla aire-combustible aumenta, no así la presión.

1-2. Compresión (Adiabática): Se supone que, como se realiza muy rápidamente, el fluido operante no intercambia calor con el medio exterior, por lo que la transformación puede ser considerada a calor constante. La línea azul representa el tiempo de compresión. La válvula de admisión que ha permanecido abierta durante el tiempo anterior se cierra y la mezcla aire-combustible se comienza a comprimir. Como se puede ver en este tiempo, el volumen del cilindro se va reduciendo a medida que el pistón se desplaza. Cuando alcanza el PMS (Punto Muerto Superior) la presión dentro del cilindro ha subido al máximo.

2-3. Combustión (Isentrópica): Se supone que salta la chispa y se produce una combustión instantánea del combustible, produciendo una cantidad de calor  $Q_1$ . Al ser tan rápida se puede suponer que el pistón no se ha desplazado, por lo que el volumen durante la transformación se mantiene constante. La línea naranja representa el tiempo de explosión, momento en que el pistón se encuentra en el PMS. Como se puede apreciar, al inicio de la explosión del combustible la presión es máxima y el volumen del cilindro mínimo, pero una vez que el pistón se desplaza hacia el PMI (Punto Muerto Inferior) transmitiendo toda su fuerza al cigüeñal, la presión disminuye mientras el volumen del cilindro aumenta.

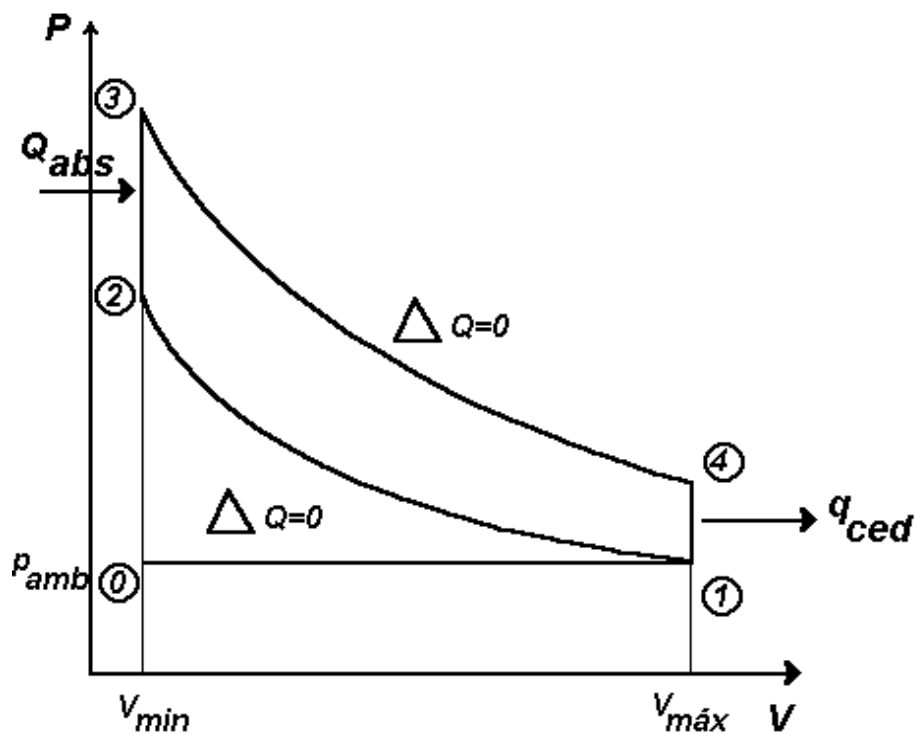
3-4. Trabajo (Adiabático): Se supone que debido a la rapidez de giro de motor los gases quemados no tienen tiempo para intercambiar calor con el medio exterior, por lo que se puede considerar que sufren una transformación a calor constante. Por último la línea gris clara representa

el tiempo de escape. Como se puede apreciar, durante este tiempo el volumen del cilindro disminuye a medida que el pistón arrastra hacia el exterior los gases de escape sin aumento de presión, es decir, a presión normal, hasta alcanzar el PMS.

4-1. Primera fase del escape (Isentrópica): Se supone una apertura instantánea de la válvula de escape, lo que genera una salida tan súbita de gases del interior del cilindro y una pérdida de calor  $Q_2$  que permite considerar una transformación a volumen constante.

El sombreado de líneas amarillas dentro del gráfico representa el "trabajo útil" desarrollado por el motor.

**Figura 12. Diagrama presión volumen del ciclo Otto.**



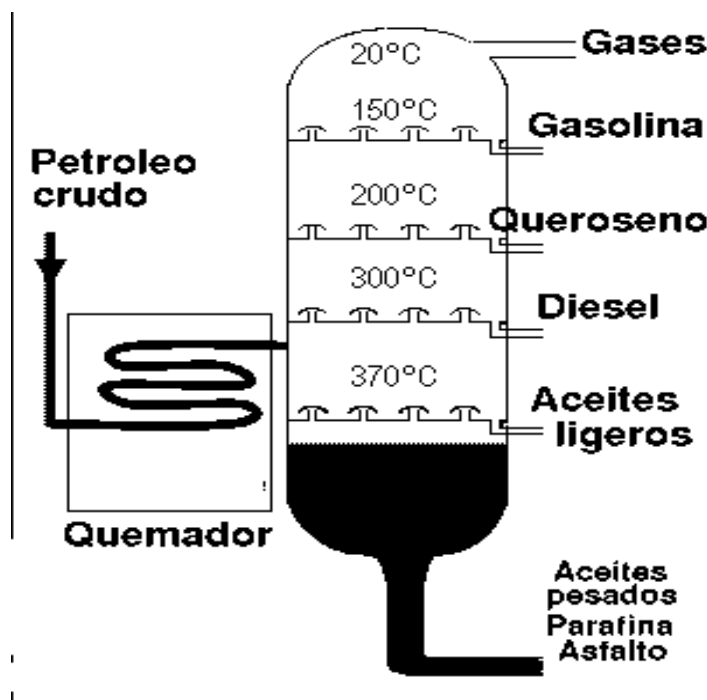
**Ciclo Otto Teórico**

### 2.4.1.3 Combustibles para motores de combustión interna

#### 2.4.1.3.1 Naftas

Las naftas son una mezcla de hidrocarburos que se encuentran refinados, parcialmente obtenidos en la parte superior de la torre de destilación atmosférica. Diferentes tipos de empresas y refinerías producen generalmente dos tipos de naftas: liviana y pesada, en las cuales ambas se diferencian por el rango de destilación que después será utilizado para la producción de diferentes tipos de gasolinas. Las naftas o gasolinas son altamente inflamables por lo cual su manejo y su almacenamiento requieren de un proceso extremadamente cuidadoso y especial. Las naftas también son utilizadas en los espacios agrícolas como solventes, también tiene uso en la industria de pinturas y en la producción de solventes específicos.

Figura 13. Torre de destilación.



#### 2.4.1.3.2 Gasolinas

La gasolina, como todo producto derivado del petróleo es una mezcla de hidrocarburos en las cuales las propiedades de octanaje y volatilidad proporcionan al motor un arranque fácil en frío, una potencia máxima durante la aceleración, la no dilución del aceite y un funcionamiento normal y silencioso bajo las condiciones de operación del motor. Principalmente se utiliza en los motores de vehículos, motores marinos y de herramientas de trabajo como podadoras, cortadoras o sierras.

Dentro de su clasificación tenemos que hay tres tipos de gasolinas comerciales:

La primera de ellas se le conoce como Regular Unleaded, o gasolina regular vulgarmente, en el cual su índice es de 89 octanos mínimo. La gasolina sin plomo equivalente a la Regular Unleaded. Esta gasolina puede que no sea un combustible que le brinde al motor un rendimiento y una aceleración de alto resultado, pero al no contener plomo esta es mucho menos contaminante y relativamente menos corrosiva al motor del vehículo y sus partes.

La segunda, denominada como Premium o vulgarmente como gasolina súper, con índice de octano mínimo de 95. Tiene un octanaje superior a 95 octanos, y se dice que pertenece a la nueva generación de combustibles reformulados, ya que adiciona un componente de mezcla oxigenado, conocido como el Metil Ter Butil Éter (MTBE), como contribución para mejorar la combustión y con ello la protección al medio ambiente. Por su elevado octanaje se recomienda para aquellos vehículos con alta relación de compresión.



Técnicamente la gasolina súper tiene una composición, que incluye aditivos, que aseguran que el motor funcione sin dejar depósitos en el sistema de admisión de combustible, haciendo que el carburador, inyector y válvulas de admisión libres de depósitos, permiten conservar las condiciones de diseño, prolongando la vida útil del motor.

Luego tenemos el tercer tipo de naftas más especializadas en los cuales superan los índices de octanaje de 98 octanos, haciendo al vehículo del motor tener más potencia, rendimiento y velocidad. Especialmente diseñada para motores modernos de alta relación de compresión y alto desempeño.

Un claro ejemplo es la Shell V-Power la cual tiene un índice de octanaje superior a los 98 octanos.

#### 2.4.1.3.3 Número de octanos

El "Número de Octano" se refiere exclusivamente a la cualidad antidetonante de la gasolina. El octanaje no es otra cosa que la medida de la cualidad antidetonante que se requiere en el combustible para resistir la tendencia a la detonación o autoencendido, por lo que el número de octano requerido depende directamente de la relación de compresión del motor. Con el nivel de octanaje adecuado se evita la detonación y se logra un solo foco de llama dado para el encendido en el momento preciso, con lo cual se logra una combustión pareja y efectiva.

El exceso de octanaje por sobre lo requerido por un motor no agrega mayores beneficios, ni en términos de potencia, suavidad ni de rendimiento, sino tan solo un costo adicional innecesario en dinero para los consumidores y puede generar una mayor contaminación al medio ambiente. El exceso de octanaje involucra un costo adicional innecesario.

#### 2.4.1.3.4 Propiedades de la gasolina

La gasolina tiene cuatro propiedades principales:

##### 2.4.1.3.4.1 Octanaje

El octanaje se la define como la principal propiedad de la gasolina ya que esta altamente relacionada al rendimiento del motor del vehículo. El octanaje se refiere a la medida de la resistencia de la gasolina a ser comprimida en el motor. Esta se mide como el golpeteo o detonación que produce la gasolina comparada con los patrones de referencia conocidos de isooctano y N-heptano, cuyos números de octano son 100 y cero respectivamente.

Con respecto a la combustión, esta, en condiciones normales se realiza de manera rápida y silenciosa, pero cuando el octanaje es inadecuado para el funcionamiento del motor, la combustión se produce de manera violenta causando una explosión o detonación que por su intensidad puede causar daños serios al motor del vehículo.

##### 2.4.1.3.4.2 Curva de destilación

Esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Indica la temperatura a la cual se evapora un porcentaje determinado de gasolina, tomando una muestra de referencia.

##### 2.4.1.3.4.3 Volatilidad

La volatilidad es una propiedad la cual se mida al igual que la presión de vapor. Esta registra de manera indirecta el contenido de los

componentes volátiles que brinden la seguridad del producto durante su transporte y almacenamiento. Esta propiedad debe a su vez estar en relación con las características del ambiente de altura, temperatura y humedad, para el diseño del almacenamiento del producto.

#### 2.4.1.3.4.4 Contenido de azufre

Esta propiedad se encuentra altamente relacionada con la cantidad poseída de azufre (S) presente en el producto. Dentro de la cantidad, se encuentran determinados promedios y estadísticas en la cual en producto no puede sobrepasar, ya que si esto sucede la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y sobre los tubos de escape. A su vez, al salir del tubo de escape, esta produce un alto grado de contaminación en el ambiente, produciendo a su vez las conocidas lluvias ácidas.

#### 2.4.1.3.5 Contaminación de la gasolina

Últimamente se ha registrado que la contaminación de la gasolina al medio ambiente ha disminuido debido a que la utilización de plomo en el combustible es mucho menor que antes; también por la limitación en el contenido de aromáticos y olefinas y por el agregado de compuestos oxigenados. Gracias a esto los gases de combustión resultan menos tóxicos. La incorporación de oxígeno permite una combustión más completa disminuyendo abruptamente la formación de monóxido de carbono.

### 2.4.1.3 Principio de la carburación.

El vacío parcial que se crea en el cilindro cuando los pistones descienden en el tiempo de admisión absorbe aire a la cámara de combustión. Este aire atraviesa el carburador; la cantidad que pasa esta limitada por una aleta basculante, llamada regulador de mariposa, cuya apertura y cierre se gobiernan desde el pedal del acelerador. La cantidad de aire absorbida depende de las revoluciones del motor y de la posición de la mariposa. El carburador tiene la misión de aportar a la corriente de aire una determinada cantidad de gasolina, para que después llegue a las cámaras de combustión una mezcla adecuada.

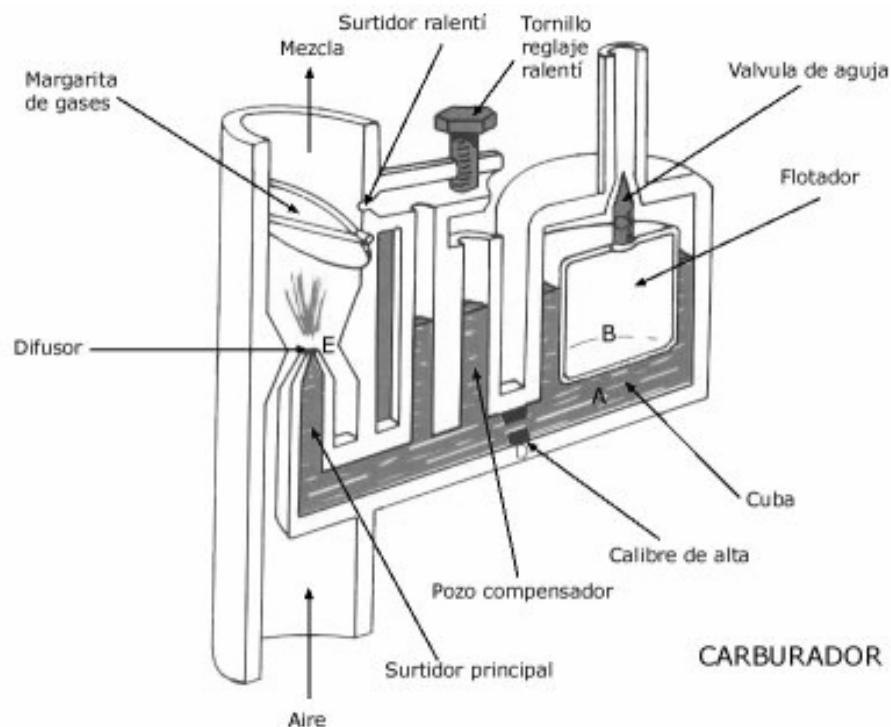
La gasolina, que procede de la cuba del carburador, se incorpora a la corriente de aire a nivel de un estrechamiento del conducto, conocido con el nombre de venturi o difusor, cuyo funcionamiento se basa en el principio de que la presión de la corriente de aire disminuye conforme aumenta su velocidad. Al pasar la corriente de aire por el venturi aumenta su velocidad, y es precisamente en esta región de bajas presiones donde se absorbe la gasolina. El caudal de aire será máximo cuando el motor funcione a muchas revoluciones con la válvula de mariposa totalmente abierta; y cuanto mayor sea la velocidad de la corriente de aire que pasa por el difusor mayor será la absorción de gasolina.

En la práctica, un carburador tan sencillo como el que acabamos de describir no resultaría satisfactorio ya que el aire y la gasolina no tienen las mismas características de flujo. Al aumentar la velocidad del aire, este pierde densidad; la de la gasolina se mantiene estable, cualquiera que sea su velocidad de flujo. Como el aire y la gasolina deben mezclarse en relación con su peso (aproximadamente en proporción de 15:1) para que

la combustión sea eficaz, la mezcla se enriquecería progresivamente al aumentar el flujo de aire y disminuir su densidad. Llegaría un momento en que la mezcla sería demasiado rica. Existen dos procedimientos para solucionar este problema. En un carburador de difusor fijo, una parte de aire se mezcla con la gasolina antes de abandonar el surtidor gracias a una serie de tubos emulsionadores o surtidores de compensación. En el carburador de difusor variable pueden variarse la cantidad de gasolina que abandona el surtidor y el paso del difusor.

Si se eleva la temperatura del colector de admisión con un "foco calorífico", calentado por los gases del escape o por agua se conseguirá una mayor evaporación de la gasolina, favoreciéndose la distribución uniforme de la mezcla. Excepto cuando los motores están fríos, la evaporación se completa al penetrar la mezcla en los cilindros y entrar en contacto con la válvula de escape caliente, con las paredes del cilindro y con el gas que quede en él.

**Figura 14. Carburador de venturi fijo.**



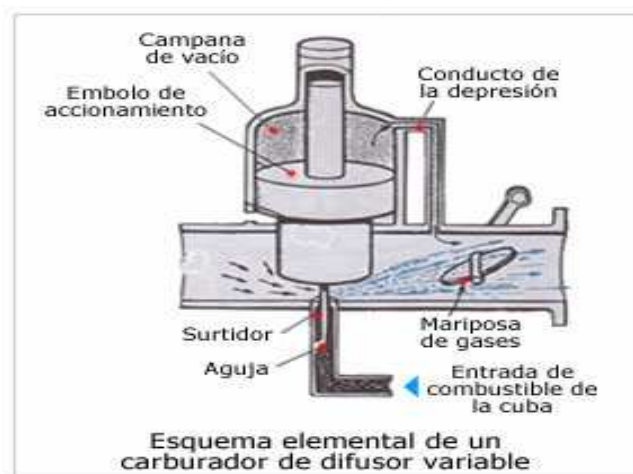
#### 2.4.1.4.1 Misión del sistema de carburación.

La carburación desempeña un papel fundamental, al permitir que el vehículo arranque con facilidad, acelere sin vacilaciones, circule de manera económica, rinda al máximo y no se detenga en pleno tráfico. En síntesis, su misión consiste en mezclar una determinada cantidad de gasolina con otra de aire, y en suministrar una proporción adecuada de esta mezcla vaporizada a cada cilindro para su combustión.

El proceso completo de carburación comienza en el momento en que se realiza la mezcla de gasolina con el aire, y termina cuando esta mezcla empieza a quemarse en los cilindros. De este modo, en la carburación intervienen los carburadores, el colector de admisión, las válvulas de admisión, e incluso las cámaras de combustión y los pistones.

El sistema de carburación proporciona gasolina al carburador. Este está formado por un depósito de carburante montado a distancia, una bomba que impulsa la gasolina hasta la cuba del carburador, y varios filtros que impiden la entrada de impurezas.

**Figura 15. Carburador de venturi variable.**



#### 2.4.1.4.2 Colector de admisión.

El colector de admisión cumple dos funciones: facilita la vaporización de la mezcla de gasolina y aire procedente del carburador, y la distribuye a cada cilindro del modo más uniforme posible.

La distribución sería completamente uniforme si toda la mezcla se vaporizara en el carburador, pero no ocurre así en todo momento, por lo que parte de la gasolina llega al colector en estado líquido. Esto no revestiría gran importancia si el motor dispusiera de un carburador para cada cilindro, ya que cada uno de ellos recibiría la totalidad del carburante destinado a él. Pero si el carburador tiene que alimentar a más de un cilindro, se necesitará un sistema adicional de vaporización para mejorar la distribución de la mezcla.

La vaporización adicional se puede conseguir con la ayuda de un foco calorífico, generalmente el colector de escape. Que de hecho constituye un vaporizador auxiliar del combustible. Este foco se encuentra en la zona central del colector, en contacto con el de escape.

De este modo, en cuanto el motor arranca, se calienta la zona en la que es más probable que se formen gotitas de gasolina. Si en este punto se produjera un exceso de calor, podría originarse una pérdida de potencia, debida a la disminución de la densidad del aire. Para evitarlo, algunos focos caloríficos poseen una válvula gobernada por termostato, que se cierra si la temperatura del escape aumenta demasiado.

Si la disposición del motor dificulta la inclusión del punto caliente del escape, se puede calentar el colector de admisión con una "camisa de

agua" alimentada por el sistema de refrigeración. Esta camisa produce una temperatura más constante en una zona más amplia, pero no es tan eficaz ni tan rápida para el arranque en frío como el foco caliente que proporciona el colector de escape.

La forma y la sección transversal del colector deben dificultar la formación de gotitas de carburante sin disminuir el Paso de aire. A esto se debe la diversidad final de las formas y dimensiones de los colectores de admisión.

#### 2.4.1.4.2 Relación aire/carburante.

Por regla general, una mezcla de aproximadamente 15 partes de aire y una de gasolina (denominada mezcla perfecta) asegura la completa combustión del carburante. Pero esta riqueza de la mezcla, o relación aire/carburante, no supone una potencia ni economía máximas. Para arrancar en tiempo frío puede ser necesaria una mezcla que comprenda una parte de aire y otra de combustible; para viajar a velocidad de crucero se necesitan, por ejemplo, 16 partes de aire por una de gasolina, lo que supone la máxima economía posible para dicha velocidad.

Las características que debe reunir la mezcla suelen ser las siguientes: riqueza para el arranque; menor riqueza para poca velocidad y ralentí; poca riqueza para velocidad moderada, y mucha riqueza para aceleraciones y velocidades altas.

La combustión del aire y la gasolina produce entre otros gases, monóxido de carbono, dióxido de carbono. Hidrocarburos y óxidos de



nitrógeno. Esta situación ha estimulado a los investigadores en el campo de la inyección de gasolina.

El estrangulador aumenta la riqueza de la mezcla para poder arrancar en tiempo frío. Para arrancar el motor en tiempo frío se precisa una mezcla rica, con una relación aire/gasolina que oscile entre 1:1 y 3:1. Esto se consigue cerrando la mariposa del estrangulador desde el salpicadero.

Como el sistema de carburación está frío y el flujo de aire por el venturi es pequeño debido a la lentitud de las primeras revoluciones del motor en el arranque. Solo una parte de la gasolina conseguirá vaporizarse. Al comenzar las explosiones, el colector de admisión se calienta progresivamente. En este momento puede disminuirse la riqueza de la mezcla hasta 4:1 ó 6:1. Lo que es fundamental para evitar la disolución del aceite y el desgaste de los cilindros. Esto ocurriría si el combustible líquido cayera por las paredes del cilindro. Una vez que el motor ha adquirido temperatura, basta con una mezcla 15:1.

Adaptación de la mezcla para diferentes velocidades.

Cuando se tira del mando del aire en el tablero para arrancar un motor frío se acciona una válvula de mariposa (a la que cierra un muelle), llamada estrangulador, y se abre ligeramente la mariposa del acelerador. Con esto se dificulta el paso de aire y se provoca una mayor succión de gasolina a través del surtidor principal. Así se consigue un enriquecimiento muy conveniente de la mezcla para el arranque. Cuando el motor entra en funcionamiento y adquiere revoluciones. El aire adicional absorbido hace que la mariposa del estrangulador se abra un poco. Con lo que se

empobrece la mezcla para evitar que el exceso de gasolina diluya el aceite que lubrica el bloque.

Si el motor ya está caliente, el movimiento de los pistones en el arranque produce un vacío parcial en el colector de admisión. Como la mariposa del acelerador esta cerrada, este vacío parcial actúa sobre el surtidor de ralentí y absorbe el combustible de la cuba a través del calibre principal y el de ralentí. El aire que va a unirse a este combustible se absorbe a través de una toma de aire adicional, con lo que se emulsiona la mezcla. Al fluir el combustible por el circuito de marcha lenta baja el nivel en el pozo principal de emulsión y quedan al descubierto algunos orificios del emulsionadores, por los que penetra aire que se mezclara con el combustible.

Al pisar el acelerador se abre la correspondiente válvula de mariposa y aumenta el flujo de aire a través del difusor. El vacío parcial debido al mayor paso de aires hace que la mezcla emulsionada de gasolina y aire se eleve en el pozo y se una a la corriente principal de aire que atraviesa el venturi o difusor. Al mismo tiempo disminuye el vacío parcial del circuito de ralentí, con lo que se interrumpe en el flujo de combustible.

Para evitar en esta fase de transición cualquier empobrecimiento fortuito de la mezcla en el circuito de ralentí suelen incluirse orificios de "progresión".

Para poder proporcionar el combustible adicional necesario durante las aceleraciones y aperturas bruscas de la mariposa, algunos carburadores disponen de una bomba de aceleración. Esta bomba comprende un pozo (relleno de combustible), en cuyo interior existe un pistón accionado por un

muelle, o una membrana, unido a la mariposa del acelerador. Al abrirse la mariposa, el pistón determina que el combustible del pozo se vierta por un conducto independiente.

Algunos carburadores permiten el ajuste del pistón para que vierta más o menos combustible. Conveniente para el funcionamiento del motor en invierno y verano, respectivamente .

En nuestros días han aparecido numerosos tipos de carburadores de difusor fijo, con una complicada disposición de los conductos de gasolina calibres y surtidores. Su mayor ventaja es la supresión de partes móviles. La dosificación adecuada de gasolina y aire se consigue mediante calibres fijos y difusores de un diámetro determinado.

#### 2.4.2 Sistema de encendido del motor de gasolina

Este sistema provee la energía eléctrica necesaria para producir el encendido de la mezcla combustible. La función principal es la de convertir energía eléctrica de baja tensión en alta tensión y distribuirla a cada uno de los cilindros del motor.

Consta básicamente de: un generador de corriente o batería, un arrollamiento primario, un interruptor mecánico, un condensador, arrollamiento secundario, un distribuidor y bujías.

El funcionamiento es el siguiente: el generador de corriente o una batería suministra energía eléctrica que circula a través de un interruptor mecánico y un condensador a un circuito primario de una bobina, cuando se abre el interruptor se produce una variación rápida, ayudada por el condensador, del campo magnético, que produce el paso de corriente por

el arrollamiento primario, lo cual induce en el arrollamiento secundario una tensión muy elevada (14000 ó 20000 V), esta tensión se distribuye al cilindro correspondiente de acuerdo a la secuencia de encendido y provoca en los extremos de una bujía una chispa en el interior del motor, que es la que enciende finalmente la mezcla combustible.

El funcionamiento de este sistema se puede verificar, si el funcionamiento del motor se produce de manera uniforme y sin interrupciones.

Las condiciones de seguridad son las mismas requeridas para las instalaciones eléctricas, especialmente en el circuito de alto voltaje. El cuidado del medio ambiente se limita a disponer adecuadamente los elementos reemplazados.

Los sistemas de encendido se clasifican en sistemas de magneto y sistemas de batería y bobina. El encendido por magneto suele ser utilizado en motores de motocicletas y pequeños motores estacionarios además de motores aeronáuticos, mientras que el encendido por batería y bobina es clásico en motores de automóvil, aunque en estos últimos está siendo desplazado por el encendido electrónico. Aunque el funcionamiento de ambos sistemas es similar en sus principios básicos, la magneto es autosuficiente y requiere solo de las bujías y los cables conductores mientras que el sistema de batería y bobina requiere además otros componentes.

De forma simplificada el funcionamiento del sistema es como sigue: las magnetos generan una corriente eléctrica, la cual es encaminada a las bujías adecuadas a través de los cables de conexión. Como es comprensible, el conjunto funciona de forma sincronizada con los

movimientos del cigüeñal para hacer saltar la chispa en el cilindro correspondiente (el que está en la fase de combustión) y en el momento adecuado.

#### 2.4.2.1 Magnetos.

Una magneto es un generador de corriente diseñado para generar un voltaje suficiente para hacer saltar una chispa en las bujías, y así provocar la ignición de los gases comprimidos en un motor de combustión interna.

Una magneto está compuesta de un rotor imantado, una armadura con un arrollamiento primario compuesto de unas pocas vueltas de hilo de cobre grueso y un arrollamiento secundario con un amplio número de vueltas de hilo fino, un ruptor de circuito y un capacitor. Cuando el rotor magnético, accionado por el movimiento del motor, gira, induce en el primario una corriente que carga el capacitor; el ruptor interrumpe el circuito del primario cuando la corriente inducida alcanza su máximo valor, y el campo magnético alrededor del primario colapsa. El capacitor descarga la corriente almacenada en el primario induciendo un campo magnético inverso. Este colapso y la reversión del campo magnético produce una corriente de alto voltaje en el secundario que es distribuido a las bujías para la ignición de la mezcla.

#### 2.4.2.2 Funcionamiento de un sistema de encendido por magneto:

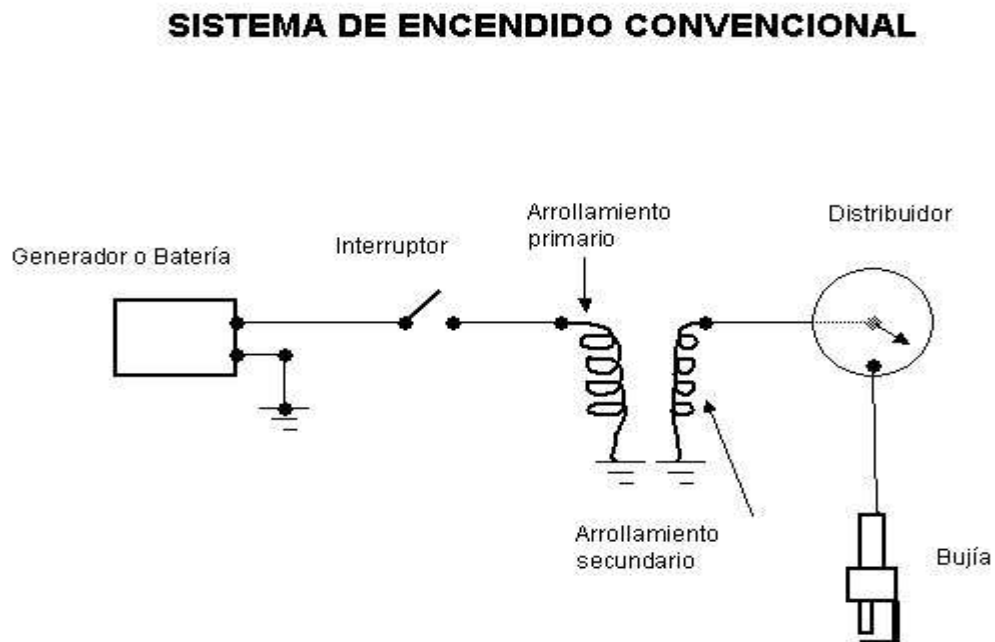
Este sistema de encendido de descarga capacitiva, se caracteriza porque es muy compacto, tiene el generador de energía eléctrica y el distribuidor incorporado.

Su importancia radica en que además de cumplir la función del sistema de encendido convencional, puede ser utilizado en lugares donde no se cuenta con una fuente de energía eléctrica externa (batería), ya que el mismo genera la energía necesaria para su funcionamiento.

La función principal, como en el encendido convencional, es la de convertir energía eléctrica de baja tensión en alta tensión y distribuirla a cada uno de los cilindros del motor, con la ventaja de que se provee a sí mismo de la energía eléctrica que necesita para el funcionamiento.

Este sistema está compuesto por una bobina excitadora, colocada en el interior del volante magnético, una bobina de ignición que no es otra cosa más que un transformador de alta tensión y un platino accionado por una leva en el momento indicado.

**Figura 16. Esquema de un sistema de encendido convencional.**



### 2.4.2.3 Bujías de encendido

La bujía tiene dos funciones primarias:

- Quemar la mezcla aire/combustible
- Disipar la Temperatura dentro de la cámara de combustión hacia el sistema de enfriamiento del motor (Rango Térmico).

Las bujías transmiten energía eléctrica que convierten al combustible en un sistema de energía. Una cantidad suficiente de voltaje se debe de proveer al sistema de ignición para que pueda generar la chispa a través de la calibración de la bujía. Este fenómeno es llamado “Desempeño Eléctrico”.

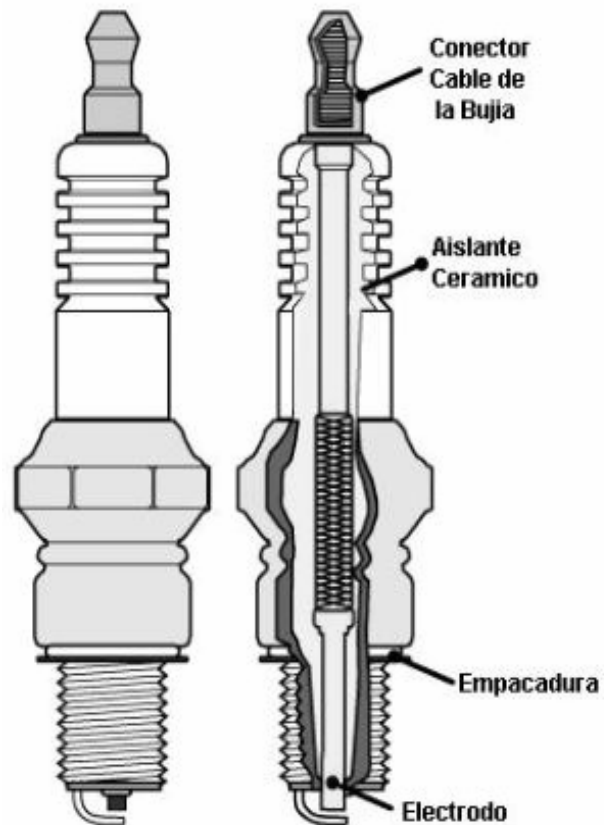
La temperatura de la punta de encendido de la bujía debe de encontrarse lo suficientemente baja como para prevenir la pre-ignición, pero lo suficientemente alta como para prevenir la carbonización. Esto es llamado “Desempeño Termal”, y es determinado por el rango térmico seleccionado.

Es importante recordar que las bujías no crean calor, sólo pueden remover temperatura. La bujía trabaja como un intercambiador de calor sacando energía térmica de la cámara de combustión, y transfiriendo el calor fuera de la cámara de combustión hacia el sistema de enfriamiento del motor. El rango térmico está definido como la habilidad de una bujía para disipar el calor.

La tasa de transferencia de calor se determina por:

- La profundidad del aislador.
- Volumen de gas alrededor
- La construcción/materiales del electrodo central y el aislador de porcelana.

**Figura 17. Visualización de una bujía de encendido.**



En su interior el electrodo central está aislado del cuerpo mediante una cobertura de aleación de níquel-cobre.

El cuerpo es una sola pieza de acero maquinada. En algunas bujías se hace de dos secciones que van roscadas entre sí.



#### 2.4.2.3.1 Índice Térmico

Este es el principal factor que gobierna el rendimiento de una bujía de encendido. Clasifica a las bujías según su habilidad para transferir calor desde la cámara de combustión a la cabeza del cilindro.

Según el índice térmico, las bujías pueden ser:

- Bujías calientes
- Bujías normales
- Bujías frías

Las bujías frías son las que transmiten mucho calor y se utiliza en motores que funcionan calientes; y al contrario de los otros, que se llaman calientes. Si una bujía caliente funciona en un motor caliente habrá sobrecalentamiento y peligro de preignición.

Si una bujía fría se instala en un motor frío, los electrodos se ensucian con carbón con la consecuente falla de encendido.

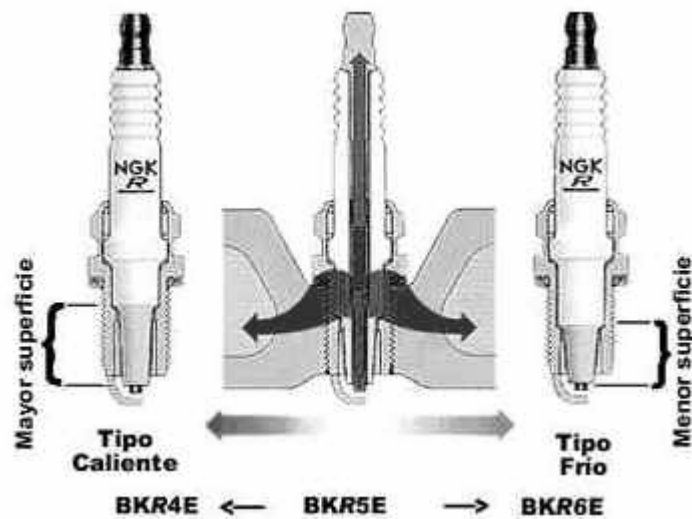
El índice térmico de una bujía depende de:

- Conductibilidad térmica del aislador y electrodo
- Transferencia de calor entre el aislador y el electrodo
- Forma del aislador y tipo de arandela externa
- Distancia entre el tubo de cobre y el extremo del electrodo central.

La bujía es mas caliente cuando menor es su grado térmico.

Los electrodos de las bujías se construyen de dos, tres, cuatro o un electrodo a masa.

**Figura 18. Disipación de calor en una bujía de encendido.**



### 2.4.3 Desplazamiento volumétrico

En su interior, el motor posee los cilindros y dentro de ellos, los pistones se desplazan en movimiento vertical. Cada pistón se desplaza desde un punto llamado punto muerto superior, hasta el punto más bajo o punto muerto inferior. Durante el desplazamiento puede observarse como se genera una figura geométrica o cilindro. El volumen total de ese cilindro corresponde entonces al área de la circunferencia multiplicado por la carrera o desplazamiento del pistón. Al sumar los volúmenes que desplazan cada uno de los pistones se obtiene la cilindrada del motor. (Técnicamente se conoce como desplazamiento volumétrico).

El desplazamiento volumétrico del pistón es el volumen de aire desplazado por este elemento cuando se mueve desde el PMI hasta el PMS. En Estados Unidos se expresa en pulgadas cúbicas y en Europa en centímetros cúbicos. El tamaño y la potencia relativos de un motor pueden apreciarse por el desplazamiento volumétrico o cilindrada del pistón. Dicho desplazamiento se puede calcular cuando se conocen el diámetro del cilindro y la carrera del pistón. El área de la sección transversal del pistón al recorrer la longitud de la carrera describe el volumen de desplazamiento.

La fórmula es:

Desplazamiento Volumétrico = (diámetro del cilindro) \* Pi \* (carrera del pistón)

Figura 19. Volumen desplazado por el cilindro

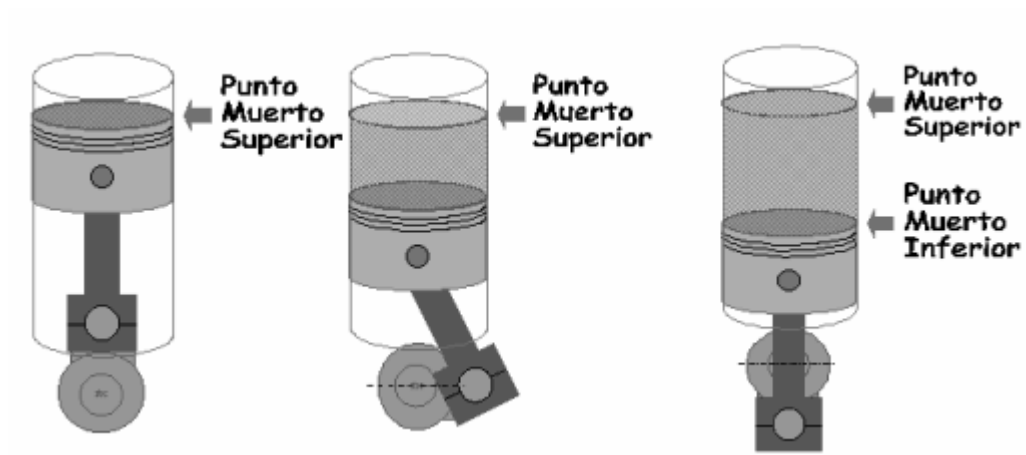
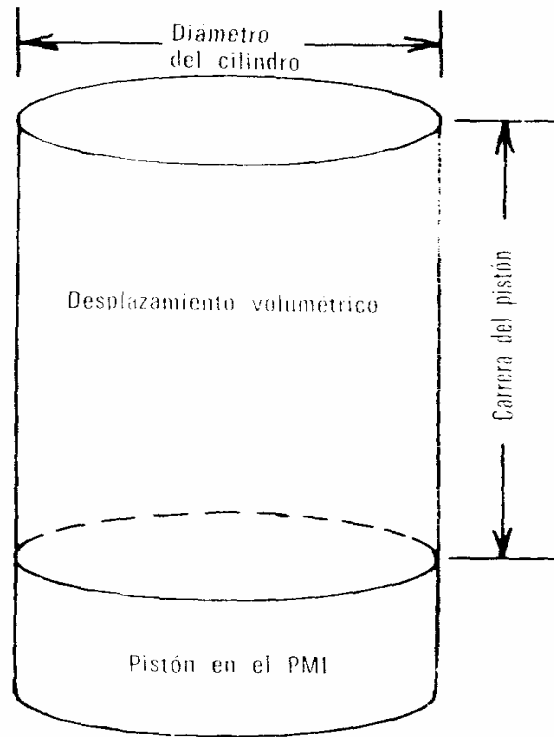


Figura 20. Desplazamiento volumétrico y carrera del pistón.



#### 2.4.4 Relación de compresión

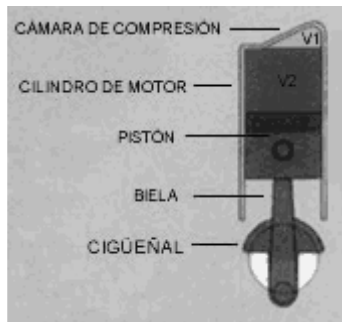
La relación de compresión es el término con que se denomina a la fracción matemática que define la proporción entre el volumen de admisión y el volumen de compresión.

Figura 21. Relación de compresión de motores Diesel y Gasolina

**Fórmula para calcular la  
Relación de compresión teórica**

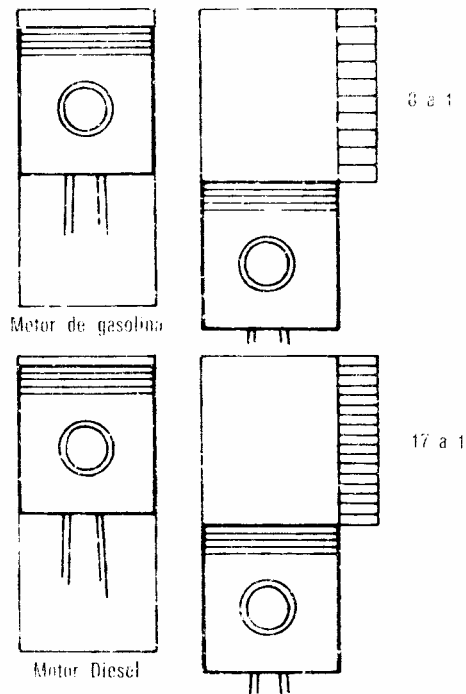
$$\frac{V1 + V2}{V1}$$

$$V1$$



**V1** = Capacidad en centímetros cúbicos de la cámara de combustión de la culata.

**V2** = Capacidad del cilindro, con el pistón en su posición inferior, (punto muerto inferior).



En general, la eficiencia térmica (capacidad para transformar calor en movimiento), y la potencia, dependen de la relación de compresión. Un motor gasta energía para comprimir los gases y aporta energía al quemar los gases. A medida que se aumenta la compresión, la diferencia entre gasto y aporte de energía crece. Es decir, a mayor compresión el motor es más eficiente.

#### Relación de compresión efectiva

Para calcular el valor real de la relación, el volumen del cilindro requiere ser medido, no con su pistón en punto muerto inferior, sino que a partir de la posición que tiene cuando termina el cierre de la válvula de admisión.

#### Presión de cilindro

La presión de un cilindro se mide con un manómetro de presión (compresímetro), y es necesario tomar una muestra de ella para conocer el grado de estanqueidad (sello) de los cilindros. Como esta presión se mide a muy bajas revoluciones y a veces con el motor frío, no se puede considerar como método de diagnóstico definitivo. Sin embargo, esta medición determina con precisión la diferencia de estanqueidad entre cilindros.

La relación de compresión en un motor de combustión interna es el número que permite medir la proporción en que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión de un cilindro. Para calcular su valor teórico se utiliza la fórmula siguiente:

$$RC = \frac{\frac{\pi}{4}d^2s + V_c}{V_c}$$

Donde:

- $d$  = diámetro del cilindro
- $s$  = carrera del pistón desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior
- $V_c$  = volumen de la cámara de combustión.

En los motores de ciclo Otto el rendimiento aumenta al aumentar la compresión, ventaja cuya aplicación se ve limitada por el encendido espontáneo de la mezcla.

#### 2.4.5 Operación del motor didáctico

El motor gasolina BRIGGS & STRATTON de 4 tiempos es un motor pequeño, compacto y ligero, del tipo utilizado para impulsar pequeños generadores eléctricos, bombas y una variedad de equipos de construcción en que se requiere una fuerza motriz confiable de bajo costo y portátil. Es un motor del tipo monocilíndrico, de 2 válvulas. El motor viene completo con el tanque de combustible, arrancador de cuerda, silenciador y filtro de aire. El pistón, la cabeza del cilindro y el cárter son de aluminio, en tanto el monobloque es de hierro colado. El enfriamiento del motor se efectúa por medio de aire, ya que el monobloque cuenta con ventilas que permiten la radiación de calor al medio circundante. Para alimentar de combustible al carburador se hace por gravedad y el sistema de combustión es del carburador vertical con venturi fijo. El motor no cuenta con bomba de aceite, de manera que la lubricación interna del mismo se realiza por medio de pequeñas palitas que se encargan de tomar partes de aceite del cárter y de salpicarlo al cilindro y a los demás componentes móviles como la biela y el muñón del cigüeñal, así como los cojinetes laterales del motor.

El motor de gasolina, que se halla en la mayor parte de los automóviles, difiere del motor diesel principalmente en el método utilizado para encender la carga combustible en la cámara de combustión. El motor de gasolina aspira una mezcla de aire y combustible hacia la cámara de combustión, comprime esta carga y luego la enciende mediante una chispa producida entre los electrodos de la bujía de ignición. El motor de gasolina utiliza aproximadamente una relación de compresión de 8.5 ó 9 a 1, en este tipo de motores. A la cámara de combustión es aspirada una mezcla de aire combustible en una proporción aproximada de 14 partes de aire por una de gasolina, que luego es comprimida elevando su temperatura.

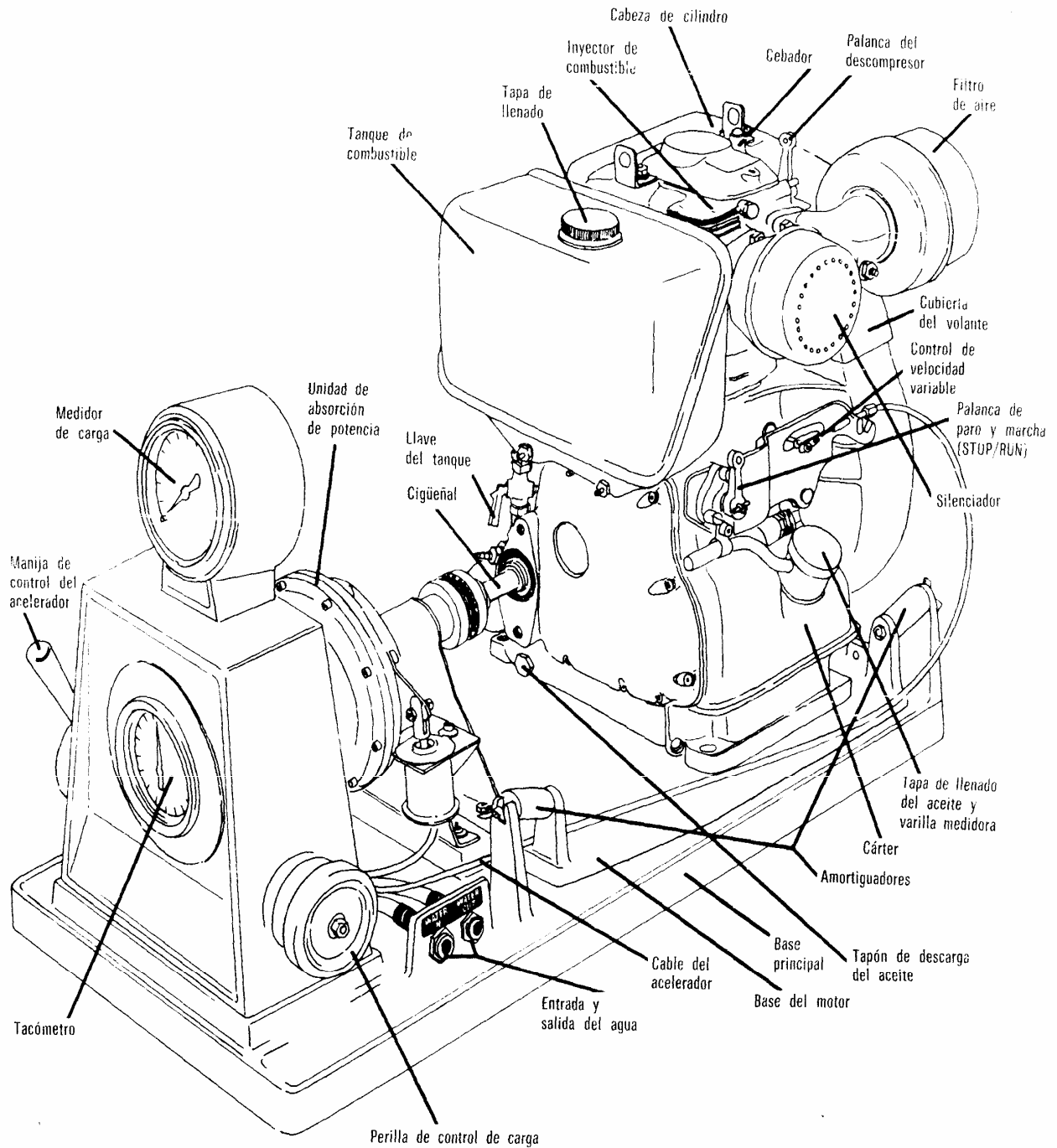
Componentes del motor

- a) Tanque y línea de combustible y llave del tanque.
- b) Tubo de admisión
- c) Carburador
- d) Filtro de aire
- e) Cabeza de cilindro
- f) Bujía
- g) Cable de ignición
- h) Control de velocidad variable
- i) Palanca de ARRANQUE/PARO (RUN/STOP)
- j) Cáster, tapa de llenado de aceite, tapón medidor del nivel de aceite y tapón de descarga del aceite.
- k) Tapa de llenado de combustible
- l) Cubierta del volante.
- m) Cigüeñal.
- n) Amortiguadores.
- o) Bases principal y del motor.



- p) Planta o fuente de carga..
- q) Silenciador.
- r) Medidor de carga
- s) Perilla de control de carga
- t) Tacómetros
- u) Manija de control del acelerador
- v) Cable del acelerador.
- w) Unidad de absorción de potencia.
- x) Conexión de entrada y salida de agua.

**Figura 22. Vista del motor didáctico y el dinamómetro.**



## OBSERVACIONES:

1. No llenar el tanque cuando el motor este en marcha.
2. Limpie todos los derrames de combustible tan pronto ocurran y deposite la tela de limpieza en un depósito seguro.
3. No opere el motor a la velocidad máxima de carga
4. No toque el cigüeñal cuando el motor este en marcha.
5. No toque el silenciador hasta que el motor se haya enfriado.

Antes de arrancar el motor deben efectuarse las siguientes operaciones:

- a) Llene el tanque de combustible con gasolina limpia fresca, de grado 87 octanos. Recuerde emplear un embudo y limpiar todo lo que se haya derramado.
- b) Revise el filtro del aire para cerciorarse de que esta limpio.
- c) Revise el nivel del aceite en el Cártel. este debe llenarse hasta la línea o marca H (1.54 litros o 3 ¼ vasos) en la varilla del nivel. Si el nivel del aceite estuviera por debajo de la marca llenarlo con aceite MS-SAE 20/50W o 10W/40 de alto detergente para temperaturas hasta de 32 grados centígrados (90 grados Fahrenheit)
- d) Haga operar el acelerador del dinamómetro varias veces para verificar que no esta pegado.
- e) Revise la alineación del acoplamiento de impulsión del tacómetro estando fuera la tabla de almacenamiento de 12.7 mm. (1/2 pulgada). Si tuviera desalineado, afloje las tuercas de mariposa de la parte posterior del tacómetro y mueve este hasta que quede alineado.

- f) Gire hasta el tope la perilla de control de carga del dinamómetro en el sentido del reloj, hasta la posición de cierre.
- g) Conecte la manguera de entrada, al abastecimiento de agua. Abra la llave y revise las conexiones de la manguera verificando que no hayan fugas.
- h) Abra lentamente la válvula de control de carga (en el sentido de la flecha marcada sobre la perilla) esto permite que el agua fluya a la unidad de absorción.
- i) Revise que no haya fugas en el sistema.
- j) Si se haya alguna corte el abastecimiento de agua, apriete todas las conexiones y vuelva al paso al agua.
- k) Cierre la válvula de control de carga girando la perilla de control hasta el tope en el sentido del reloj.

El siguiente procedimiento sirve para arrancar el motor y debe seguirse en el orden indicado.

- a) Asegúrese de que la tabla de almacenamiento de 12.7 mm. (1/2 pulgada) este entre la base del motor y la base principal.
- b) Ponga el acelerador en la posición de 40% de apertura (en el numero 40 de la escala respectiva)
- c) Mueva el interruptor de ARRANQUE/PARO a la marcha (RUN).
- d) Si el motor es nuevo o el tanque de combustible se ha vaciado durante la marcha hasta quedar seco, será necesario purgar o extraer aire del sistema de combustible.
  - 1) Afloje el tornillo de la mezcla 2 y  $\frac{1}{2}$  ó 3 vueltas aproximadamente.
  - 2) Habrá el acelerador completamente a 100%

- 3) Coloque el extremo anudado de la cuerda de arrancar en la ranura de la polea de arranque, enrolle al rededor de la polea en el sentido del reloj.
  - 4) Tire de la cuerda de arranque rápida y uniformemente desenrollándola de la polea de arranque.
  - 5) El combustible se derramará por un agujero en la base del tubo de admisión durante los dos o tres tirones, a medida de que el aire es expulsado de las líneas de combustible continuamente y sin burbujas.
  - 6) Si el motor es nuevo o ha pasado mucho tiempo sin operar, puede remover el filtro de aire y agregar una pequeña parte de combustible directamente al carburador, esto hará que el motor arranque más rápido y reducirá el esfuerzo necesario para halar la cuerda mayor numero de veces.
- e) Compruebe que el cable del acelerador abra por completo la mariposa de los gases del carburador y no este descalibrado.
  - f) Utilizando ambas manos, de vuelta a la polea de arranque en sentido contrario al de la flecha blanca de la parte superior de la polea hasta que se encuentre resistencia.
  - g) Coloque el extremo de la cuerda de arrancar en la ranura de la polea de arranque y enróllela en el sentido del reloj alrededor de la misma dándole dos y media vueltas.
  - h) Tire de la cuerda de arranque rápida y uniformemente para desenrollarla por completo de la polea.
  - i) Si el motor se enciende y se apaga después, lleve la polea e arranque nuevamente hasta el punto de resistencia, enrollé la cuerda de arrancar y tire de ella otra vez. Un motor nuevo puede requerir de varios tirones antes de que arranque.

NOTA: si el motor va a operar al aire libre y la temperatura es inferior a 13 grados centígrados será necesario cebar o preparar el motor para su arranque. Para tal objeto proceda como sigue:

- 1) Coloque la palanca del ahogador en la posición “enriquecido”
- 2) Agregue en la cámara unas gotas de aceite lubricante de motor (no con aceite Diesel).
- 3) Déle giro al motor hasta que arranque.
- 4) Cuando el motor este arrancado funcionara durante un momento y luego comenzara a fallar debido a la excesiva riqueza de la mezcla, entonces deberá reducir la abertura del ahogador gradualmente hasta la posición “pobre”, en ese momento el motor marchara suavemente.

Paro del motor:

- a) Para detener la marcha el motor, suprima la carga girando hasta el tope la perilla de control en el sentido del reloj, mientras reduce la apertura del acelerador hasta que el motor marche suavemente.
- b) Ponga el interruptor de ARRANQUE/PARO en la posición de PARO (STOP). El motor se detendrá.
- c) Cierre el paso de agua y coloque la tabla de apoyo usada para el almacenamiento del equipo, entre la base principal y del motor.

## ADVERTENCIAS IMPORTANTES

Para garantizar una operación continua segura y eficiente del motor de gasolina BRIGGS & STRATTON de cuidadosa atención a las siguientes advertencias:

- a) No opere el motor a altas revoluciones en el momento del arranque, o causara daños a las guías de las válvulas y al muñón del cigüeñal debido a que el aceite aún no ha lubricado todo el motor.
- b) No opere el motor a altas temperaturas, ya que el sistema de enfriamiento del motor es únicamente por transferencia de calor al medio ambiente, este libera poco calor durante un tiempo prolongado. Si se necesita utilizar el motor bajo este rango se sugiere utilizar un ventilador.
- c) No pare el motor haciéndolo que marche hasta agotar el combustible. Si el motor funciona hasta que el tanque de combustible este completamente vacío, el aire entrará en las líneas por lo que será necesario purgar y cebar de nuevo el sistema.

#### Revisión y cambio de aceite

Emplee los siguientes procedimientos para revisar o cambiar el aceite lubricante:

- a) Observe la marca del nivel de aceite en el tapón medidor, si el nivel de aceite esta debajo, añada lo suficiente para elevarlo hasta que rebose por dicho orificio.
- b) Cambie el aceite después de cada 250 horas de operación. Vacíe el colector de aceite, lávelo con aceite de enjuague y ponga otra vez el tapón de descarga.
- c) Para llenar de nuevo el Cárter, quite la tapa de llenado de aceite y vierta lentamente aceite de grado apropiado.

- d) Cada vez que se cambie el aceite deben sustituirse también el filtro de aire y el anillo de la junta. Quite la tapa de retención del filtro de aire, saque y reemplace el elemento filtrante y el anillo de la junta.

#### Servicio del depurador del aire

Un depurador sucio puede causar pérdida de potencia y consumo excesivo de combustible. El filtro de aire debe limpiarse cada 250 horas de operación del motor o cuando lo disponga el instructor.

- a) saque el elemento filtrante y su cubierta.
- b) De pequeños golpes al elemento de papel del filtro contra el borde de un banco de trabajo para desalojar las partículas grandes de suciedad y luego límpielo soplando con aire comprimido.
- c) Limpie la cubierta del depurador de aire con keroseno o un limpiador semejante. En ninguna circunstancia utilice gasolina límpielo con un trapo para secar y termine de secarlo con aire comprimido.
- d) Arme de nuevo el filtro de aire e instálelo al motor.

#### Mantenimiento del sistema de escape.

Un silenciador sucio causa pérdidas de potencia al obstruir la salida de los gases del escape de la cámara de combustión. Dichos gases atrapados en la cámara de combustión impiden que esta se llene con otra nueva carga de aire fresco. Esto altera la relación de aire a combustible y la temperatura de compresión, originando una pérdida de potencia.

- a) Quite las tuercas de ensamble del conjunto del silenciador y separe del motor este último.



- b) Examine el empaque si esta torcido o dañado, reemplácelo.
- c) Reinstale el conjunto del silenciador.

## 2.5 Operación básica del dinamómetro

### 2.5.1 Descripción de indicadores y controles

La capacidad de trabajo y la eficiencia de un motor se determina midiendo su potencia de salida. Una vez que se conozca esta potencia, el motor podrá utilizarse en aplicaciones que estén dentro de su capacidad. Por tanto un motor de 3HP no se emplearía para impulsar un automóvil, ni uno de 100HP se usaría en una cortadora de césped.

Para medir la eficiencia y la potencia de un motor con fuerza motriz rotatoria, generalmente se utiliza un dinamómetro. Este dispositivo mide el par de rotación de un motor transformado el par rotatorio existente en el cigüeñal del mismo, en un momento de fuerza estacionario. Este último puede medirse con una báscula, peso colgante, celda de carga, medidor de deformación o cualquier otro dispositivo semejante para medir fuerzas, instalado en el extremo del brazo del dinamómetro.

En la forma más básica y familiar un "tacómetro" se explica como aquel instrumento que mide la velocidad de rotación de cualquier dispositivo mecánico. Uno de los mejores ejemplos es el tacómetro ubicado en el panel de "instrumentos del automóvil".

Lo rápido que el motor del automóvil está girando es medido en revoluciones por minuto por el instrumento llamado "tacómetro" o "cuentarrevoluciones".

La mayoría de los autos están optimizados en sus transmisiones de modo estándar y cuando es necesario hacerlos funcionar a las mejores revoluciones posibles para conseguir una mejor aceleración y economizar combustible, entonces el indicador que ayuda a saber lo que está ocurriendo es el tacómetro.

El indicador en la zona roja es una alerta o una alarma para el conductor, para salvaguardar al motor de daños por exceso de su movimiento de rotación. La mayoría de los tacómetros muestran simples dígitos indicadores con pequeñas marcas que se leen en revoluciones por minuto x 1000 ó x 100. Entonces lo que se lee en el manómetro hay que multiplicarlo por mil o por cien para calcular el número correcto de revoluciones por minuto.

Un tacómetro también puede medir la frecuencia de la chispa de la bujía transmitida por el sistema de encendido. Incluso en la ciencia médica se usa el tacómetro para medir movimiento rotatorio.

Un contacto físico entre el instrumento y el dispositivo en medición es necesario en el tacómetro tradicional. Este es por lo general un cable flexible, en el caso del motor didáctico lo conectamos a través de un pequeño tubo de caucho flexible. Puede emplearse para medir la rotación de taladros, sierras, herramientas, motores, ventiladores, compresores y generadores.

Otro control del que se dispone en el equipo didáctico es una llave instalada de paso graduada, que permite controlar el flujo de agua que entra a los alabes del freno hidráulico, así entre mas abierta este la llave mas agua entrará al dispositivo y reducirá mas carga opuesta al giro del motor. Esta llave se encuentra gobernada por una manecilla que posee un

escala en su alrededor, lo que permite de alguna manera medir la posición de abertura de la misma, esta escala posee intervalos de unidad y un rango de 0 a 10.

El equipo también cuenta con un controlador de aceleración que acciona un cable conectado al carburador del motor y acciona la válvula de mariposa de los gases del mismo. Esta manija de aceleración posee una escala con intervalos de 10 y un rango de 0 a 100% de la abertura de la mariposa, lo que facilita la medición del rendimiento del motor así como la toma de datos según lo requieren las distintas prácticas de laboratorio.

Por otra parte el dinamómetro posee su respectivo indicador de torque que proporciona un lectura de 0 a 15 lbs.- pie. lo que permite por medio de una simple operación determinar la potencia del motor. Otros controles e indicadores no menos importantes son localizados en el equipo, tales como el indicador de medición de combustible, el medidor de vacío en el deposito medidor de masa de aire por ejemplo, pero estos se detallaran en el capítulo correspondiente al laboratorio.

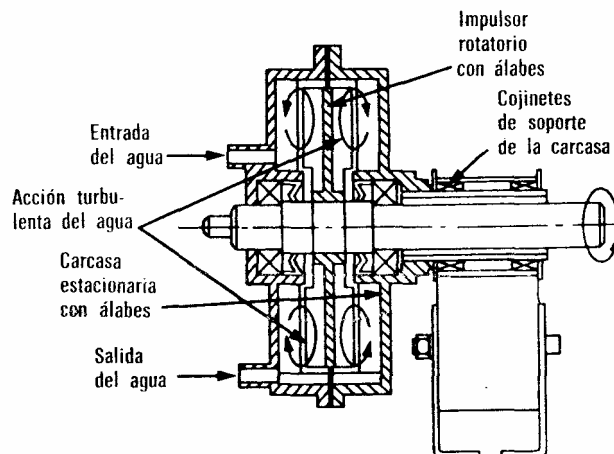
### 2.5.2 Operación de la unidad

El dinamómetro que se emplea con el motor didáctico utiliza un freno hidráulico (o de agua) para convertir el par rotatorio en un momento estacionario.

La unidad de absorción de potencia del dinamómetro se localiza a un costado del mismo. Observe que el cuerpo o carcasa de la unidad consta de dos partes atornilladas con empaque entre ellas para tener una junta a prueba de agua.

Localice el eje de impulsión que se prolonga a través de la caja o carcasa observe que en el frente esta acoplado al tacómetro por una sección de tubo flexible de plástico. En la parte de atrás se extiende a través del cojinete de soporte de la carcasa para su conexión del cigüeñal del motor. Un impulsor con alabes montado en el eje de impulsión gira dentro de la carcasa cuando lo hace también el cigüeñal del motor. Si la unidad de absorción tiene agua; el pulsar rotatorio agita dicho liquido a su alrededor y lo fuerza contra las paredes de la caja estacionaria.

**Figura 23. Unidad de absorción de potencia**

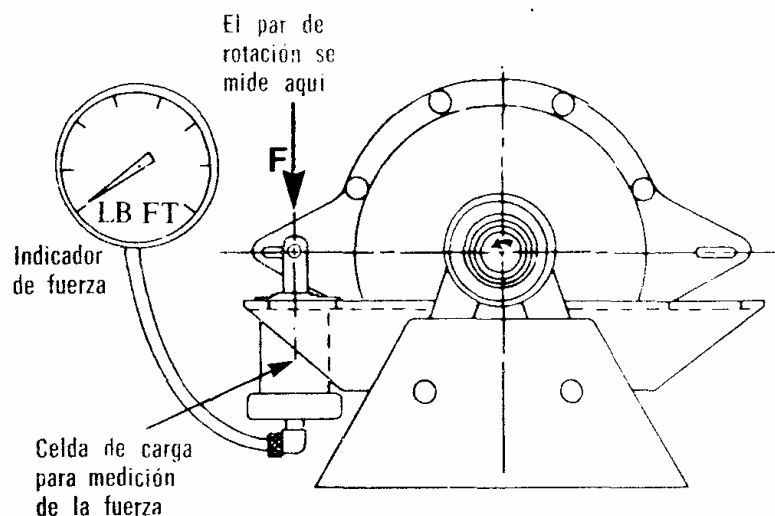


Las paredes de esta última también tienen alabes y las fuerzas del agua agitada que actúa contra dichas paredes hacen que la carcasa tienda a girar.

Localice la celda de carga a un lado de la unidad de absorción. Mientras se observa dicha unidad y la celda de carga, mueva manualmente el volante del motor algunos grados en uno y otro sentido.

El objeto de la celda de carga es restringir el movimiento de la carcasa y medir el par de rotación ejercido por el agua sobre aquella. Note que la celda de carga esta conectada al medidor de fuerza o carga por medio de una manguera. Localice la manguera que proviene de la celda de carga en el dinamómetro existente. La celda de carga, la manguera de conexión y el medidor de fuerza constituyen una unidad hidráulica medidora de fuerza y no deben ser desconectados bajo ninguna razón.

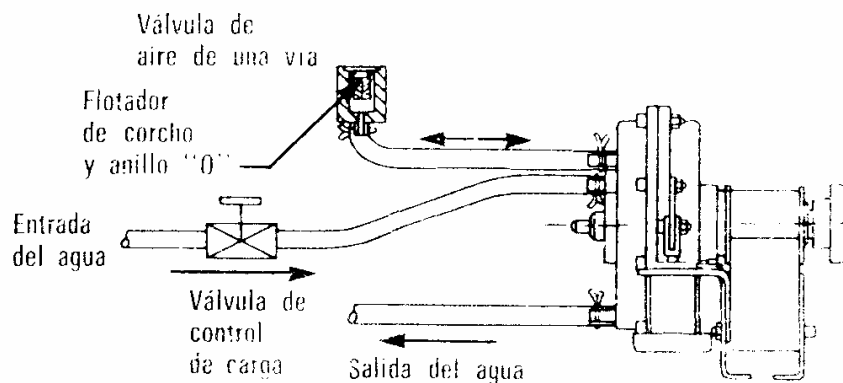
**Figura 24. Unidad de absorción de potencia y forma de medición.**



La cantidad de agua en la unidad de absorción de potencia determina el grado de carga de motor. Cuando mayor sea la cantidad de agua que haya dentro de la carcasa, tanto mayor será la carga del motor. El equipo cuenta con varios elementos que permiten que el agua entre y salga de la unidad de absorción de potencia. Existe una manguera de

entrada a la válvula de control de carga y luego a la unidad de absorción de potencia. Una tercera manguera proporciona control de aire, permitiendo a este escapar o entrar en la unidad cuando varía el volumen de agua.

**Figura 25. Circulación del agua en la unidad**



Localice la conexión de entrada de agua (*WATER IN*) en el lado derecho de la unidad existente. Siga la manguera de plástico transparente que va desde dicha conexión de entrada de agua hasta la válvula de control de carga, desde ahí hasta la unidad de agua (*WATER OUT*) va directamente a la descarga de agua.

Localice la válvula de aire de una vía montada sobre la pared derecha interior de la caja del tacómetro. Observe que hay un orificio en el centro de la parte superior de la válvula, que permite que entre aire cuando se expulsa el agua de la caja de unidad. Cuando entra el agua en la caja y trata de salir por la línea del aire, una válvula de cheque de una vía cierra el orificio, permitiendo que salga el aire mas no así el agua. Cuando la válvula de agua es cerrada total o parcialmente, el lugar que

ocupaba el agua debe ser ahora abarcado por aire, que tendrá que proporcionar la manguera correspondiente en conjunto con la válvula de cheque, esta permite el retorno entonces de aire hasta la carcasa del freno hidráulico.

Cuando el equipo esta en funcionamiento y el freno hidráulico aplica carga al motor, el agua dentro de la carcasa sigue en circulación y tiene un drenaje, (*WATER OUT*) por lo que es necesario colocar un recipiente lo suficientemente grande para contener el agua extraída (aproximadamente 5 galones), a este recipiente también se le instala la válvula de cheque con la manguera de aire, ya que a veces puede derramar pequeñas gotas de agua durante su funcionamiento.

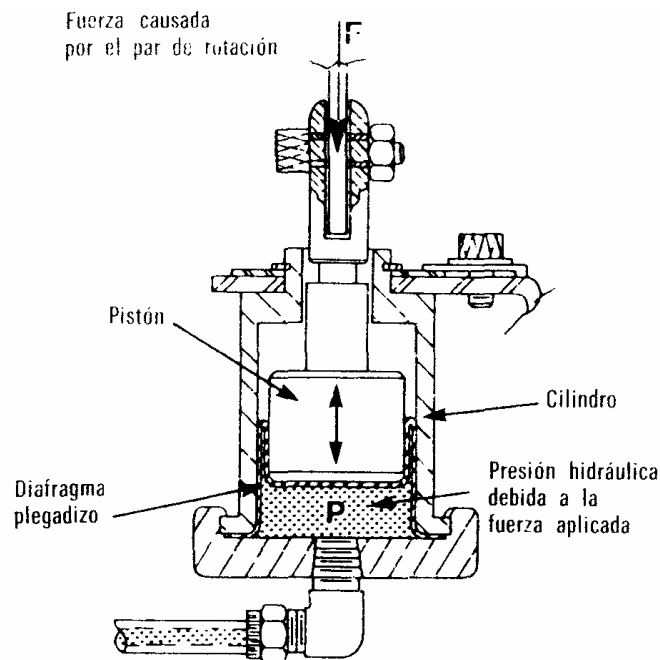
El contenido del recipiente será suficiente y albergara el liquido durante una serie de pruebas de aproximadamente 5 minutos según sea el caso, si las pruebas se prolongaran será necesario drenar el recipiente para evitar derramamientos al rebalsarse el líquido. Es importante recordar que la manguera de entrada (*WATER IN*) debe ser conectada a un grifo del servicio de agua potable y esta debe tener suficiente presión, es conveniente mantener dicho grifo cerrado mientras se calienta y prepara el motor con el equipo y abrirlo hasta el momento justo en que se va a utilizar, ya que de lo contrario una pequeña cantidad de agua circulará por la carcasa e ira al recipiente de drenaje, disminuyendo la cantidad de tiempo para trabajar sin necesidad de vaciarlo.

Se recomienda que al terminar las prácticas, el equipo sea desconectado cuidadosamente y en la medida de lo posible sea secado, ya que las llaves de paso y algunos componentes son metálicos y pueden

sufrir procesos de oxidación y corrosión si el equipo es guardado sin cuidado, húmedo y durante un tiempo prolongado.

La celda de carga consta de un pistón y un cilindro cerrado por un diafragma plegadizo. La unidad de absorción al empujar el pistón hacia abajo lo introduce de nuevo en el diafragma, que se mueve en el sentido contrario respecto al líquido operante (“fluido hidráulico”). El par de rotación se transmite a través del líquido hasta el medidor de fuerza o carga para mover el indicador.

**Figura 26. Celda de carga para medición de fuerza.**



Antes de arrancar el motor repase la revisión preoperacional y los procedimientos de arranque. Ponga la perilla de control de carga en posición mínima (girándola hasta el tope en el sentido de las agujas del



reloj). Luego arranque el motor y ajuste el acelerador hasta llegar a 2500 r.p.m. Y deje que marche durante unos segundos para su calentamiento.

Utilizando la perilla de control aplique carga lentamente al motor hasta que el medidor respectivo indique 3 lb.-pie de par de rotación. En este momento se podrá verificar si aumentan o disminuyen las revoluciones del motor y si estas pueden ser modificadas variando la carga aplicada al motor.

Observe que el dinamómetro no responde inmediatamente a cambios en los ajuste del control de carga. La respuesta retardada se debe al tiempo necesario para que el agua entre o salga de la unidad de absorción de potencia. Practique utilizando el control de carga para variar la velocidad del motor hasta que se este seguro de tener el “tacto” o “sensación” de la respuesta retardada del dinamómetro a cambios en los ajustes o posiciones del control de carga.

### 2.5.3 Medición de velocidad

Para la toma de lecturas de velocidad, que es algo común en todas las practicas que se lleven a cabo, el motor deberá revisarse previamente como se ha indicado. El motor deberá tener abiertos los grifos del tanque de combustible y este deberá fluir sin interrupciones hasta el carburador. Si el motor esta frío posiblemente deberá aplicarse el ahogador para enriquecer la mezcla en el carburador, aunque si se hace por mucho tiempo el ahogador puede inundar completamente el tubo de admisión del carburador y dificultar aun más el arranque.

Si esto llegara a suceder se recomienda colocar la perilla de aceleración al 100% de su abertura y halar la cuerda de arranque varias veces, de esta manera el combustible excesivo será evacuado del carburador y de la cámara de combustión, muestra de ello será que el motor dará algunas explosiones e intentos de arranque, para luego arrancar acelerando progresivamente hasta su funcionamiento normal.

Después de acelerar y calentar el motor durante algunos segundos se podrán ejecutar las diversas pruebas. Para la de velocidad se recomienda no revolucionar al motor arriba de las 5000 r.p.m sin que se le someta a carga por medio del freno hidráulico. Tampoco se recomienda mantener el motor a altas revoluciones o bajo carga alta durante mucho tiempo, ya que esto motivara el recalentamiento del mismo y aumentara la posibilidad de daño.

En condiciones adecuadas el motor podrá acelerar en un rango bastante amplio de revoluciones cuando el operador se familiarice con el funcionamiento del freno hidráulico, y la toma de lecturas a través del tacómetro es sencilla y directa.

#### 2.5.4 Medición de par de rotación

Para llevar a cabo este procedimiento se deben tomar en cuenta todas las observaciones del numeral 2.5.3. Posteriormente refiérase al numeral 2.5.2 para los detalles de funcionamiento del freno hidráulico y del equipo. Una vez que pueda manejar adecuadamente los controles, el equipo y este familiarizado con el control del freno hidráulico y su respuesta retardada, se podrán obtener los datos de par de rotación o torque que brinda el equipo. Para ello basta con tomar la lectura

directamente del medidor de par provisto en el equipo. Es posible que debido a las vibraciones del motor, principalmente cuando se le somete a carga, la aguja del indicador de par, oscile demasiado, por lo que para obtener una lectura se deberá hacer un promedio del rango en que oscila.

#### 2.5.5 Cálculo de potencia en base a los datos obtenidos

Una vez que se tengan los datos de par de rotación a determinadas velocidades del motor, se podrá obtener la potencia desarrollada por el mismo a las citadas revoluciones mediante la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{T * r.p.m}{5250}$$

Donde T es el par de rotación en libras – pie leído directamente en el medidor de carga; r.p.m es la velocidad angular leída en el tacómetro y 5250 es una constante para unidades en el sistema ingles. En unidades métricas la ecuación es:

$$HP = \frac{T * r.p.m}{726}$$

Donde T debe estar en metros kilogramo; la constante es específica para el sistema internacional. Utilizando estas ecuaciones se pueden calcular los datos de potencia correspondientes a los datos de velocidad y par motor enlistados en el procedimiento. Proceda luego a eliminar lentamente

la carga del motor mientras se emplea el acelerador para sostener la velocidad en 2500 r.p.m. Cuando la carga se elimina por completo (girando la perilla del control de carga hasta el tope en el sentido de las agujas del reloj), opere el interruptor de arranque y paro (RUN STOP) y detenga la marcha del motor.

## 2.6 Prácticas de laboratorio en el motor didáctico

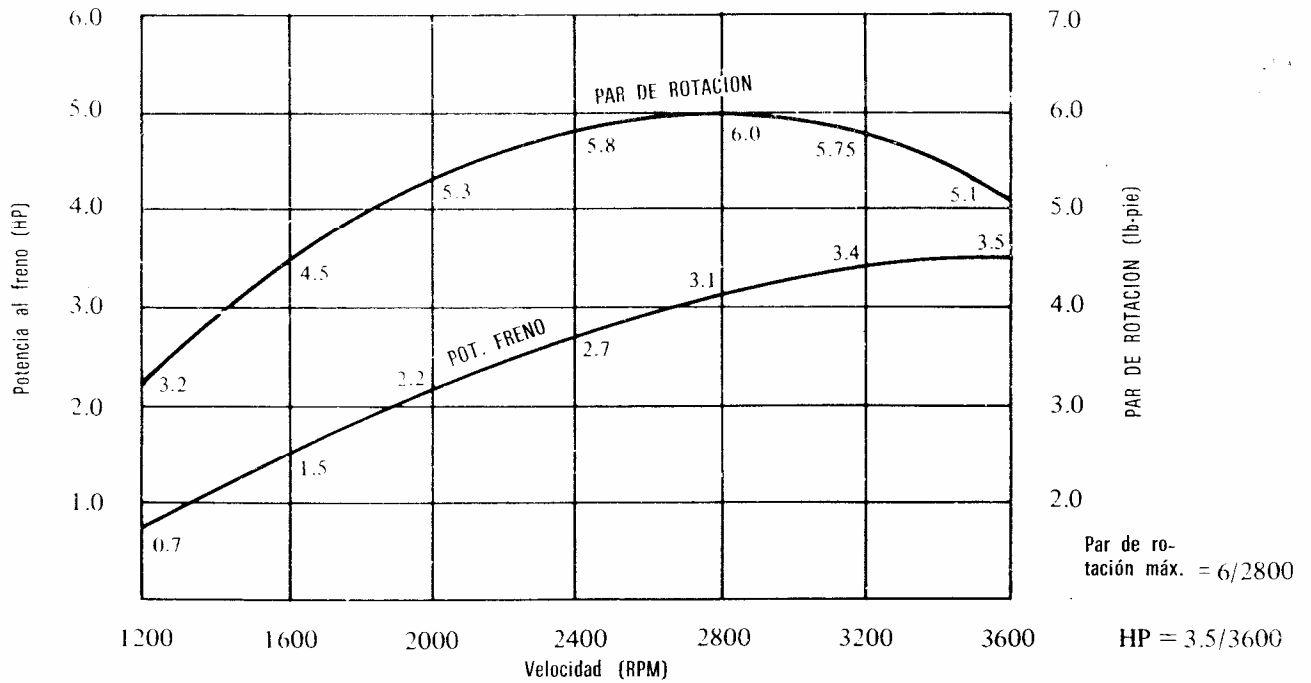
### 2.6.1 par de rotación y velocidad con acelerador totalmente abierto

La prueba con el acelerador totalmente abierto, es un buen método por el cual puede determinarse la potencia máxima de un motor a cualquier velocidad en r.p.m dentro del intervalo de funcionamiento del motor. Esto permite comparar la potencia real con la indicada en las especificaciones del fabricante. Es muy útil ya que permite evidenciar el hecho que a ciertas revoluciones del motor se aminora la potencia aunque se aumenten las revoluciones, manteniendo por supuesto la misma abertura del acelerador.

#### 2.6.1.1 Gráfica de par de rotación y potencia

En la siguiente gráfica se presentan las especificaciones de potencia dadas por el fabricante para el motor BRIGGS & STRATTON. Las curvas cubren el intervalo de 1000 a 3600 r.p.m. Los valores de potencia en caballos se marcan sobre el lado izquierdo de la gráfica, en tanto que los valores de par de rotación lo están sobre el lado derecho.

**Figura 27. Gráfica velocidad versus potencia y par de rotación.**



Observe que el par de rotación máximo se desarrolla a 2,800 r.p.m. A esta velocidad la potencia es de 3.1HP. La potencia máxima (3.5 HP) se desarrolla a 3,600 r.p.m cuando el par de rotación es de 5.1lb-pie. Ni la potencia ni el par de rotación permanecen constantes a los diversos valores de r.p.m.

Generalmente las hojas de especificación dan la potencia y el par de rotación máximos, y las r.p.m a las que se producen. La mayoría de los motores no operan continuamente a la velocidad correspondiente a la potencia nominal, por lo que es conveniente saber que potencia se desarrolla a valores superiores e inferiores de r.p.m.

Los cambios que hay en la temperatura de la operación afectan considerablemente el funcionamiento en los motores pequeños enfriados con aire. La potencia el motor se puede reducir hasta en 10% cuando la temperatura de la cabeza del cilindro se eleva de 93 grados centígrados a 204 grados centígrados (de 200 a 400 grados Fahrenheit). Por esta razón, en todas las pruebas realizadas para fines de comparación no debe haber interrupciones y los cambios de velocidad deben hacerse en el mismo sentido, hacia arriba o hacia abajo en el intervalo de r.p.m, es decir si una prueba se realiza principiando con una alta velocidad descendiendo después, entonces todas las pruebas deben iniciarse desde una velocidad alta. Conviene proceder siempre de este modo, pues así es menos probable que se sobrecaliente el motor. Para efectuar una prueba completa debe requerir más de 5 minutos.

#### 2.6.1.2 Variación de carga y velocidad mientras el acelerador permanece totalmente abierto

Para verificar el comportamiento del motor a carga variable y acelerador abierto en su totalidad complete el siguiente procedimiento:

- Ponga la perilla de control de carga en la posición mínima (girándola hasta el tope en el sentido del reloj)
- Arranque el motor y ajuste el acelerador para 2000 r.p.m. Déjese calentar durante unos segundos
- Aumente lentamente la apertura del acelerador al mismo tiempo dando carga al motor por medio de la perilla de control, hasta que el acelerador este abierto totalmente y el tacómetro indique las 3600 r.p.m.

- Registre la indicación del par de rotación a 3600 r.p.m en lbs.-pie. y calcule la potencia.
- Anote los valores de par de rotación y de potencia en la tabla sobre los espacios correspondientes a 3600 r.p.m.
- Con el acelerador en la posición de apertura total , ajuste el control de carga para las velocidades del motor dadas en la tabla y anote la lectura del par de rotación para cada velocidad.
- Cuando todas las lecturas del par de rotación hayan sido registradas, suprima la carga, reduzca la apertura del acelerador poniéndolo en marcha mínima y pare el motor.
- Calcule la potencia en HP para cada velocidad del motor registre los resultado en la tabla.
- En el presente informe se dan datos de ejemplo, los que obtengan los estudiantes en sus respectivas practicas deberán ser similares.

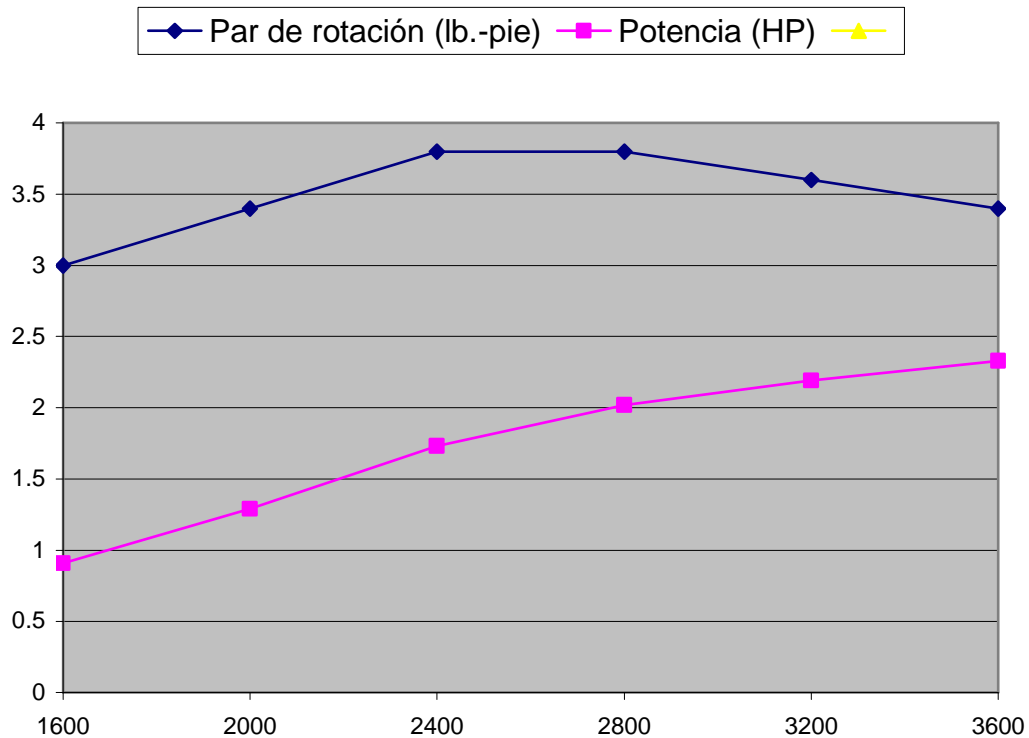
Tabla II. Resultados de variación de carga y velocidad con acelerador totalmente abierto.

r.p.m	Par de rotación(lb.-pie)	Potencia (HP)
3600	3.4	2.33
3200	3.6	2.19
2800	3.8	2.02
2400	3.8	1.73
2000	3.4	1.29
1600	3.0	0.91
1200	2.8	0.64

### 2.6.1.3 Cálculo de potencia y trazo de curvas

Posteriormente a efectuar los cálculos a partir de los datos obtenidos y utilizando los valores registrados en la tabla anterior, debemos trazar las curvas de par de rotación y de potencia utilizando un gráfico adecuado. A continuación observamos una gráfica comparativa entre par de rotación y potencia, versus r.p.m.

**Figura 28. Gráfica par de rotación y potencia versus r.p.m.**



Se puede notar que la gráfica obtenida a través de los datos registrados en una prueba común es semejante a la grafica proporcionada por el fabricante, de lo cual podemos concluir lo siguiente:



- Las curvas son semejantes en los rangos de r.p.m proporcionados por los fabricantes.
- El par máximo obtenido se alcanza en un promedio de 2600 r.p.m.
- La potencia máxima se obtiene a 3600 r.p.m.
- La potencia continua aumentando mientras el par de rotación disminuye porque depende matemáticamente de la velocidad del motor.
- El par de rotación disminuye debido a que la cámara de combustión ya no es llenada completamente a altas revoluciones.
- Los factores que pueden influir para que la gráfica no sea igual a la del fabricante pueden ser entre otros, a que el motor tiene algún tipo de desgaste, alta o baja temperatura, desajuste en el carburador o el sistema de encendido, lecturas erróneas en los instrumentos de medición, etc.
- Podemos concluir además que el rango operativo óptimo de este motor oscila entre las 2400 y 2600 r.p.m, ya que es en este rango donde obtendremos el par máximo y aunque acelerando el motor obtendríamos mas potencia, esta se obtendría a costa de revoluciones mas altas lo que acarrearía mayor consumo de combustible y mayor desgaste del motor así como el aumento notable de la temperatura.

#### 2.6.2 Par de rotación a velocidad constante y apertura variable del acelerador

En muchas ocasiones es conveniente hacer funcionar un motor a velocidad constante, aun cuando la carga sea variable. Un ejemplo típico es la forma en que se conduce un auto en una supercarretera o vía de alta velocidad. El conductor desea viajar a una velocidad alta y constante, por

ejemplo 95kph para recorrer la máxima distancia en el menor tiempo posible. Si no fuera por factores incontrolables, simplemente pondría el acelerador en la posición adecuada para una velocidad de 95kph, y de ahí en adelante no haría nada sino con toda tranquilidad se concretaría a guiar su vehículo. Sin embargo existen factores sobre los cuales no tienen ningún control, como cuestas ascendentes y descendentes y curvas del camino, que hacen que varíen la carga sobre el vehículo y, en consecuencia, tiene que ajustar frecuentemente el acelerador para aumentar o disminuir el par de rotación a fin de compensar la mayor o menor carga del motor. Al subir una cuesta abrirá el acelerador para impedir la pérdida de velocidad, y al descender dejara de acelerar para evitar que aumente la velocidad. En las curvas tendrá que acelerar un poco para compensar la carga adicional debida a cambio de dirección sobre el movimiento del vehículo.

Algunos motores de servicio pesado cuentan con reguladores (o gobernadores) que ajustan automáticamente la posición del acelerador para mantener las r.p.m del motor dentro de los límites precisos a medida que cambia la carga. En plantas de energía eléctrica, los grandes motores que mueven los generadores tienen que funcionar a velocidad angular constante. Estos motores están previstos de reguladores que aseguran una velocidad invariable aunque la carga este cambiando constantemente.

Algunos motores diesel pequeños utilizados para generadores caseros o bombas de agua similar al motor utilizado en el laboratorio emplean un regulador mecánico de velocidad ajustable que opera por la fuerza centrífuga. Es un mecanismo del tipo de velocidad ajustable que permite que la velocidad regulada cambie entre la de marcha mínima y la velocidad plena o normal.

El mecanismo consta de contrapesos montados sobre un eje con transmisión de engranes, un resorte regulador y un varillaje de conexión necesario, que mantienen abierta la bomba de inyección (inyector de combustible). A medida que el motor desarrolla velocidad, la fuerza centrífuga hace que los contrapesos articulados se alejen del eje. Esto origina que los contrapesos de las colas se muevan hacia la derecha en la dirección del eje. El resorte del regulador se opone a este movimiento actuando sobre el conjunto del eje deslizante.

En tanto la velocidad permanezca dentro de los límites fijados por el acelerador manual, existirá un estado de equilibrio entre el resorte del regulador y las colas de los contrapesos. Si la carga se reduce y la velocidad se aumenta, los contrapesos se alejan a mayor distancia del eje y las colas de los contrapesos se mueven a la derecha comprimiendo el resorte del regulador. El varillaje que conecta al eje deslizante con la cremallera de control de la bomba de combustible, cambia el ajuste de aquella, lo cual reduce la cantidad de combustible inyectado a la cámara de combustión disminuyendo así la velocidad. Si la carga aumenta, el motor disminuye su velocidad y se aplica menos fuerza centrífuga a los contrapesos. La tensión del resorte del regulador que actúa a través del eje corredizo, es capaz de empujar hacia la izquierda las colas de los contrapesos.

El movimiento del eje deslizante se transmite, por intermedio del varillaje, a la cremallera de control de la bomba, haciendo que se inyecte mayor cantidad de combustible en la cámara de combustión y ocasione un aumento de velocidad. El regulador reacciona muy rápidamente a los cambios de carga y de velocidad, de manera que las operaciones descritas son muy rápidas y uniformes.

Estos motores están provistos de una palanca de paro por sobrecarga que debe ser accionada cuando se arranca el motor. La operación de esta palanca permite que la cremallera de bomba de combustible se mueva a la posición de exceso de combustible. Cuando el motor aumenta su velocidad, el regulador cierra la cremallera y le impide regresar a la posición de exceso de combustible. Puesto que los motores con frecuencia tienen que trabajar a velocidad constante con carga variable, es muy útil saber el funcionamiento del motor en estas condiciones.

Los motores de gasolina actuales y avanzados no cuentan con gobernadores mecánicos que compensen las variaciones de carga, pero poseen controles electrónicos computarizados que permiten mantener determinada velocidad aunque existan variaciones en la inclinación del camino.

El motor de gasolina BRIGGS & STRATTON utilizado en el laboratorio, por ser tan pequeño y antiguo carece de cualquier tipo de control compensador de carga, por lo que cualquier cambio en las condiciones que se le exigen deberá ser compensado mediante la manecilla que controla la apertura de la válvula de mariposa situada en el carburador. La presente práctica de laboratorio estudiara el comportamiento del motor y su rendimiento abriendo paulatinamente el acelerador.

### 2.6.2.1 Operación del motor con incrementos de 10% en la apertura del acelerador

Para efectuar las pruebas de laboratorio correspondiente a esta prueba se debe seguir el procedimiento que se detalla a continuación:

- Ponga la perilla de control de carga en la posición mínima (girándola hasta el tope en el sentido del reloj).
- Arranque el motor y ajuste el acelerador y el control de carga para 2000 r.p.m, aproximadamente. Déjese calentar durante unos segundos.
- Registre la velocidad del motor (2000 r.p.m) en el espacio correspondiente de la tabla. Estas r.p.m se utilizarán durante la prueba.
- Mueva el acelerador a la marca de 40% y de carga al motor por medio del control de carga para mantener la velocidad en 2000 r.p.m.
- Anote la lectura del medidor de carga (par de rotación) en la tabla correspondiente.
- Calcule la potencia en HP y registre el resultado en la tabla.
- Aumente la apertura del acelerador en los porcentajes restantes enlistados en la tabla, utilizando el control de carga para limitar la velocidad a 2000 r.p.m.

- Anote en dicha tabla los valores del par de rotación.
- En el presente informe se dan datos de ejemplo, los que obtengan los estudiantes en sus respectivas prácticas deberán ser similares.

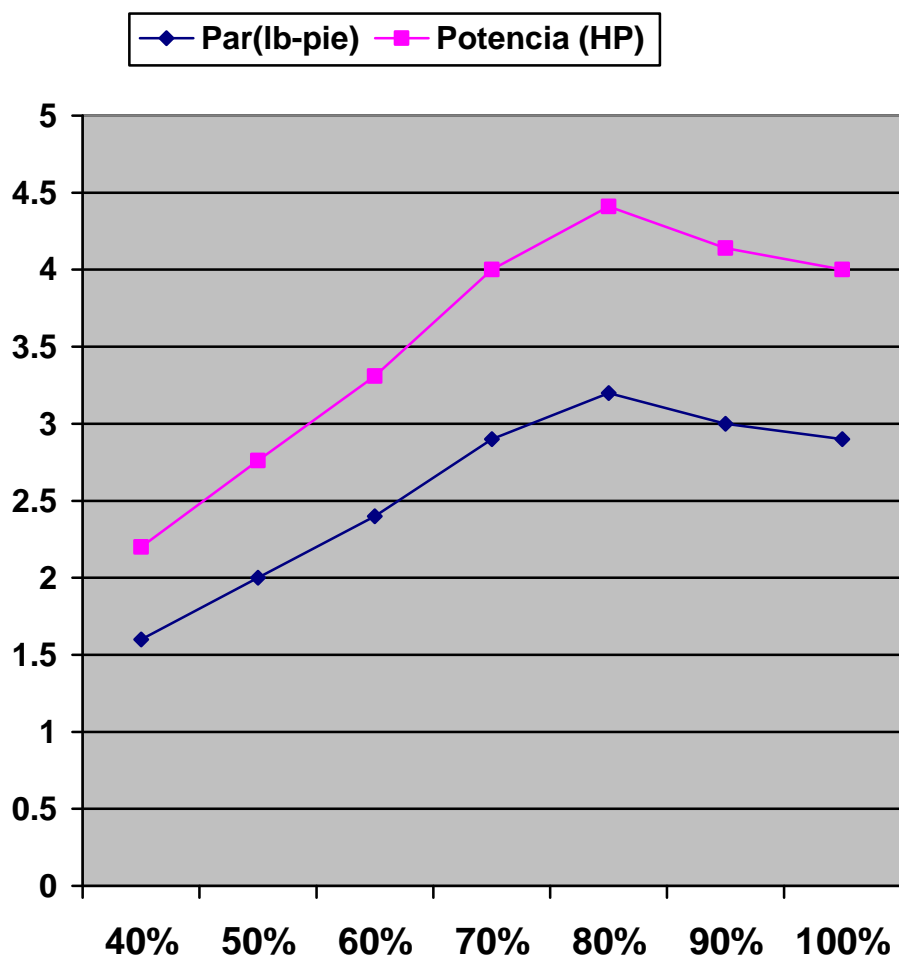
Tabla III. Resultados de variación de par y potencia con apertura variable.

ACELERADOR EN	Par de Rotación (lb-pie)	Potencia (HP)
40%	1.6	0.6
50%	2	0.76
60%	2.4	0.91
70%	2.9	1.1
80%	3.2	1.21
90%	3	1.14
100%	2.9	1.1

- Suprima la carga y reduzca la apertura del acelerador a marcha mínima y pare luego el motor.
- Calcule la potencia en HP y anote los resultados en la tabla

- Trace las curvas de par de rotación y de potencia en un cuadro que indique las r.p.m y la escala para potencia y par de rotación.

**Figura 29. Gráfica de par de rotación versus porcentaje de apertura**



r.p.m utilizadas durante el presente experimento: 2000 r.p.m.

De la anterior gráfica y sus resultados podemos concluir lo siguiente:

- Para que el motor desarrolle la máxima potencia el acelerador debe situarse alrededor del 80% de abertura.
- Esto puede ser debido a que en esta posición el carburador provee la mezcla adecuada para brindar una combustión completa.
- Otra hipótesis es el hecho de que el freno de agua puede brindar una mayor carga a mayores revoluciones y puede influir en el rendimiento del motor con el acelerador totalmente abierto.
- De igual manera, para obtener el par de rotación máximo, el acelerador debe situarse en una posición alrededor del 80%.
- Podemos observar que en esta grafica las curvas de par motor y potencia son idénticas en su trazo, esto se debe a que el laboratorio se desarrollo a 2000 r.p.m en forma constante, por lo que la potencia y el par son proporcionales.
- Una prueba a velocidad constante es importante porque permite verificar la posición óptima de abertura del acelerador para obtener un mejor rendimiento del motor.

### 2.6.3 Medición del consumo de combustible

Una parte esencial del análisis de funcionamiento de un motor es la medición precisa y significativa de consumo de aire y de combustible. Para un motor de gasolina el gasto de combustible por unidad de distancia recorrida se puede determinar aproximadamente si se toma y anota la primera lectura del odómetro y luego se llena el tanque de combustible hasta rebosar.



La siguiente vez que se llene el tanque se registrara de nuevo la lectura del odómetro. La diferencia entre las dos lecturas es la distancia recorrida desde la última vez que se ha llenado el tanque. Dividendo la cantidad de combustible necesaria para llenar el tanque entre la distancia recorrida, se tendrá una aproximación del gasto de combustible por unidad de distancia expresado en litros por kilómetro (l.p.k.), o bien, en unidades inglesas, en galones por milla (g.p.m.). La cifra es aproximada por que no hay modo de asegurar que se repuso la cantidad exacta de combustible utilizado. Talvez el tanque no se haya llenado hasta el punto de rebose, y el derrame se produjo debido a la agitación y las burbujas del aire, o bien parte del combustible registrado en el medidor de la bomba de servicio se había derramado sobre el piso.

Además, para obtener la cifra final no se tomo en cuenta los periodos de marcha mínima durante el calentamiento del motor o en las paradas por señales de transito. Tampoco se tuvo en cuenta el número de arranques en frío ni las paradas del motor y los arranques. Por tanto, el valor resultante es un promedio y no indica el consumo a velocidades y cargas especificas. Sin embargo a pesar de que solo es una aproximación, en muchos casos es útil el cálculo de este consumo de combustible.

El sistema de aire y combustible del laboratorio proporciona un medio para determinar el consumo de aire y de combustible a una velocidad y carga dadas. En esta práctica de laboratorio el estudiante se familiarizara con el uso del medidor de flujo del sistema de referencia.

### 2.6.3.1 Descripción del medidor de flujo de combustible

1) El consumo de combustible, suministrado del depósito o tanque al motor, se mide cuando pasa a través del flujo (rotámetro) antes que llegue al carburador.

2) El rotámetro es un tubo ahusado y graduado con precisión que contiene una pequeña bola.

3) El combustible fluye en el tubo desde abajo hasta su parte superior. Al circular por el tubo el combustible empuja hacia arriba la bola, y la distancia a la que la levanta depende principalmente de la intensidad del flujo del combustible a través del tubo y, en menor grado, de variaciones en la viscosidad y la densidad del líquido.

4) El sistema de medición del flujo de combustible cuenta con tres bolas de rotámetro de diferente peso cada una. La potencia máxima nominal del motor de prueba determina que bola ha de utilizarse.

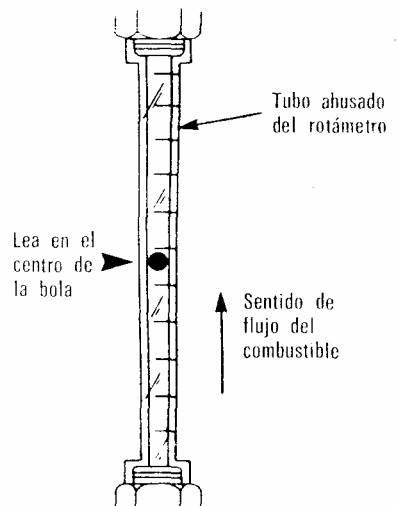
5) La siguiente gráfica enlista los intervalos de potencias y flujos para cada bola. Obsérvese que la bola roja, modelo BA-4 es para un flujo o gasto de 0 a 3 libras por hora (o 0.75 lb. /h para combustible diesel) y se emplea en motores con potencia de 0 a 5 HP. La mayor viscosidad del combustible diesel reduce la intensidad de flujo para un factor de cuatro. El motor de gasolina didáctico desarrolla una potencia aproximada teórica de 3 HP, por lo que se deberá utilizar la bola roja cuando se mida el consumo de combustible de este motor.

Tabla IV. Intervalos de potencia y flujo para cada bola del rotámetro.

Intervalos de Potencia (HP)	Intervalos de consumo de Combustible (lb/h)	Tipo de bola	Modelo de Bola
0-5	0-3	Roja	BA-4
1-8	1-5	De Acero	BJ-4
3-15	2-9	De Tantalio	BD-4

Los anteriores intervalos son exclusivamente para gasolina, en el caso de combustible diesel se debe dividir por 4. El nivel a que esta el centro de la bola se utiliza como índice de la intensidad del flujo. La bola puede fluctuar un poco cuando sigue la acción del paso de burbujas de aire por la tubería. Si la fluctuación es significativa, utilice el promedio de los desplazamientos o variaciones máxima y mínima.

Figura 30. Rotámetro



### 2.6.3.2 Conexión y operación del aparato

Utilizando el siguiente procedimiento como guía, monte el medidor de flujo de combustible.

- A) Cerciórese de que este limpio el depósito.
  
- B) Ponga suficiente combustible en el para poder efectuar todas las pruebas sin tener que volver a llenarlo. Compruebe que el combustible es fresco y preferiblemente filtrado.
  
- C) Coloque el depósito de combustible sobre una base firme, al mismo nivel que el tanque de combustible del motor o más alto. El fijar tal depósito sobre el tambor de amortiguación de pulsos del sistema de aire y combustible, proporciona una altura satisfactoria.
  
- D) Conecte la línea del combustible que viene del depósito de gasolina a la entrada auxiliar situada debajo del tanque de combustible. De vuelta al a llave del tanque de manera que apunte hacia abajo, esto comunica la entrada auxiliar a la entrada del carburador. Asegúrese de que las conexiones de la línea mencionada son herméticas.
  
- E) Examine el tubo del rotámetro para cerciorarse de que contiene una bola de peso correcto (roja).

Antes de arrancar el motor repase la revisión preoperacional y los procedimientos de arranque.

- F) Ponga el control de carga en posición mínima haciendo girar la perilla hasta el tope en el sentido del reloj.
- G) Arranque el motor y ajuste el acelerador para 2000 r.p.m. Déjelo calentar durante algunos segundos.
- H) Con el motor funcionando a 2000 r.p.m sin carga, ¿cuál es la lectura del rotámetro? Lectura del rotámetro= 3
- I) La lectura del rotámetro en si no tiene ningún valor particular y no se expresa en unidades. Debe convertirse a unidades de consumo utilizando el diagrama de flujo del rotámetro. Las lecturas se hallan marcadas en la base del diagrama. El consumo de combustible en galones por hora (g.p.h.), o bien en litros por hora (l.p.h.), multiplicando por el factor indicado, se indica en el lado izquierdo, en tanto que el consumo en libras por hora (lb. /h), o bien en kilogramos por hora (kg. / h), multiplicando también por el factor que se indica, se marca en el lado derecho. Observe que se tiene una curva determinada para cada tipo de bola. Puesto que se utiliza la bola roja hay que emplear la curva titulada “Bola de zafiro roja de 1/8 plg. de diámetro”.
- J) También se puede utilizar la siguiente tabla de conversiones para encontrar los valores por métodos numéricos:

Densidad de la gasolina:  $803 \text{ Kg. /m}^3 = 0.803 \text{ g/cm}^3$

Tabla V. Equivalencias de capacidad.

<b>1 galón</b>	<b>3.75 litros</b>
<b>1 galón de gasolina</b>	<b>3.011 kg de gasolina</b>
<b>1 galón de gasolina</b>	<b>6.62 libras de gasolina</b>
<b>1 libra de gasolina</b>	<b>0.15 galones de gasolina</b>

2.6.3.3 Empleo del medidor de flujo de combustible para medir el consumo del mismo

Utilizando la lectura de rotámetro determine por medio de la grafica el valor del consumo en gph y en lb. /h para la velocidad de carga mínima del motor, de 2000 r.p.m.

Lectura del rotámetro= 3

Consumo de combustible = 0.066 gph = 0.4 lb. /h

Aumente lentamente la apertura del acelerador hasta 100%, mientras da carga al motor para mantener la velocidad en 2000 r.p.m.

¿Cuál es la lectura del rotámetro?

Lectura del rotámetro = 4.2

Convierta la lectura a un valor de flujo o consumo, utilizando la tabla correspondiente.

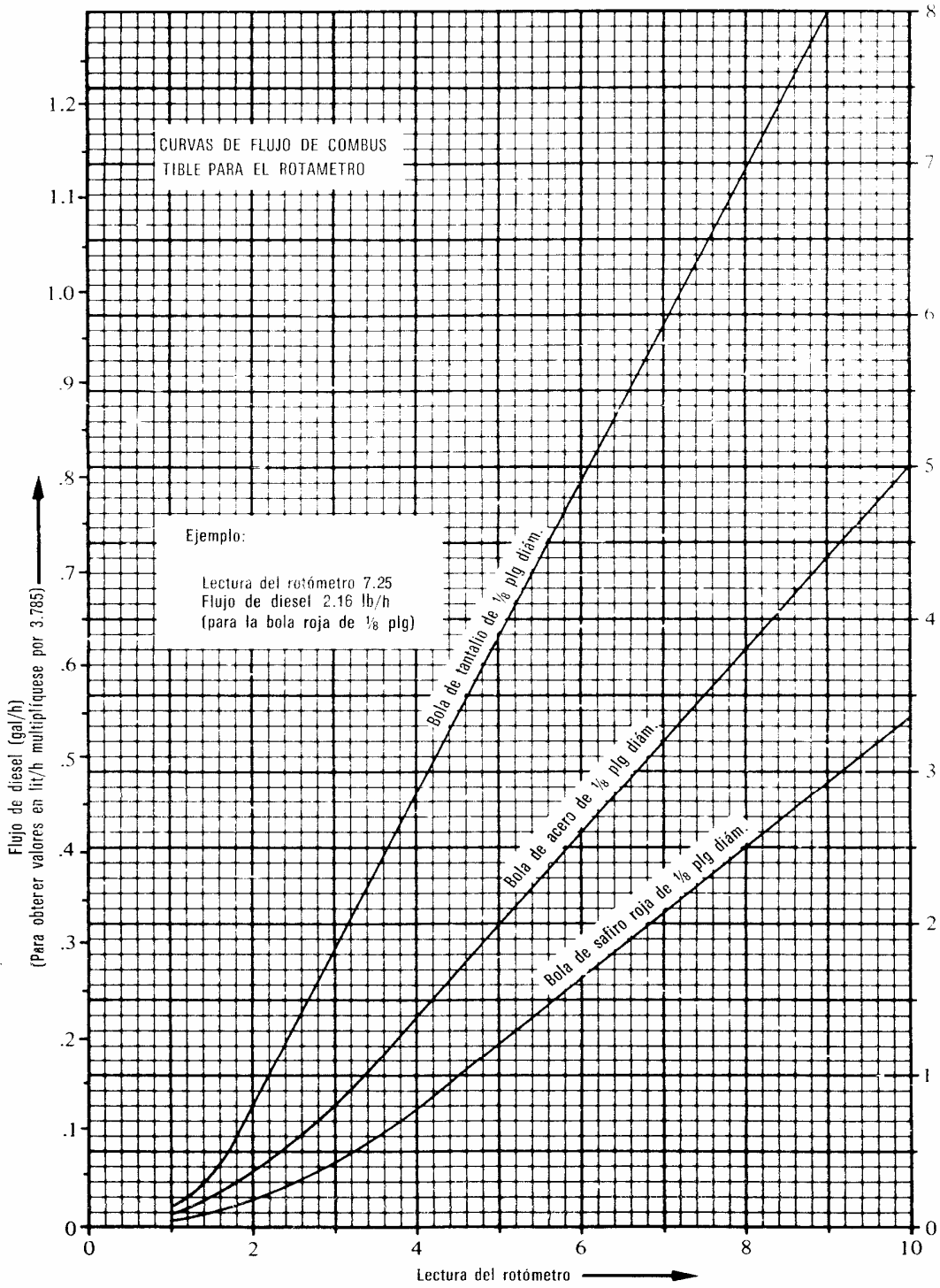
Consumo de combustible = 0.16 gph = 1 lb. /h.

Quite la carga, reduzca la apertura del acelerador a la de marcha mínima y para el motor.

Con respecto a los resultados del anterior experimento de laboratorio se puede concluir lo siguiente:

- El consumo de combustible fue mayor cuando el motor estaba con carga, ya que naturalmente se requiere una cantidad de combustible relativamente pobre para mantener funcionando un motor sin carga, pero al incrementar la exigencia de potencia para mantener cierto número de revoluciones con mayor carga, el carburador deberá proveer una mezcla aire combustible enriquecida que permita este requisito.
- El Rotámetro es un instrumento útil para medir flujo másico de fluidos. Aunque existen distintos tipos de medidores de flujo, (algunos muy precisos para la industria química o la automatización), el rotámetro es suficiente para un motor con fines didácticos.
- Debido a que el motor es demasiado pequeño en cuanto a cilindrada, el consumo de combustible es proporcional, lo que dificulta la medición de consumo a bajas revoluciones (es demasiado escaso). Para obtener resultados el motor deberá trabajar a altas revoluciones o con un régimen de carga determinado.

**Figura 31. Curvas de flujo de combustible para el rotámetro.**





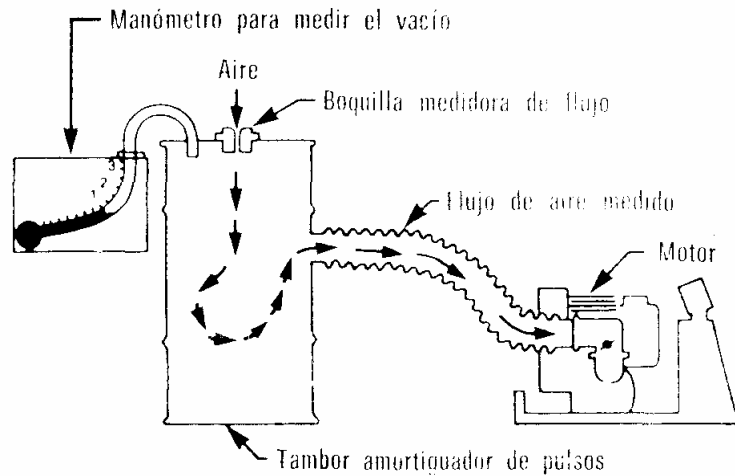
#### 2.6.4 Medición del consumo de aire

El motor de gasolina difiere del motor diesel en la forma en que el aire y el combustible se combinan y se introducen en la cámara de combustión. La velocidad del motor de gasolina se controla variando las cantidades de aire y combustible que entran en la cámara de combustión. El motor de gasolina está equipado con un carburador a través del cual se aspira el aire y se mezcla con la gasolina. El paso del aire por la garganta del carburador se limita y acelera sucesivamente mediante un venturi. En este elemento se tiene una tobera o surtidor de combustible. El aire que circula a través del venturi arrastra al combustible que fluye desde la tobera y se vaporiza dentro de la corriente de aire de baja presión. Al controlar el flujo de aire por medio del acelerador (o válvula de mariposa) se regula también la cantidad de combustible y la relación de estos elementos.

##### 2.6.4.1 Descripción del medidor de flujo de aire

El medidor de flujo de aire permite determinar la cantidad de aire que entra en el motor en diversas condiciones de operación. El flujo de aire se mide haciendo que el motor lo aspire a través de una boquilla o tobera de precisión, pasando luego a un tambor de amortiguación de pulsos, y después por una manguera, hasta la toma de aire del motor, puesto que todo el aire que entra al cilindro a entrado a la tobera, la intensidad de flujo puede determinarse midiendo la presión a uno y otro lado de dicha tobera o boquilla.

**Figura 32. Equipo medidor de flujo de aire.**



La diferencia de presión que haya en la tobera se mide en pulgadas de agua por medio de un manómetro de líquido que es un instrumento que se utiliza para medir la presión de gases y vapores.

La presión del aire suele expresarse como la altura de columna de agua, en centímetros o pulgadas, que puede soportar. Un centímetro de agua equivale a una presión de 0.001 kg. /cm<sup>2</sup> y una pulgada de agua a 0.036 lb. /plg<sup>2</sup>. se tienen las siguientes equivalencias: 1 plg. de agua = 2.54 cm. agua = 0.00254 kg. /cm<sup>2</sup>.

Se proporcionan tres tamaños diferentes de toberas para utilizarse con el medidor de flujo de aire. El motor de gasolina BRIGGS & STRATTON utiliza relativamente menos aire que un motor diesel equivalente, debido a que tiene una relación de compresión mas baja, por lo que se debe emplear la tobera de 12.5 mm. (0.50 plg.) cuando se prueba este motor.

La siguiente tabla muestra los tamaños de boquillas a emplear según la potencia desarrollada por los motores, en nuestro caso debemos utilizar la boquilla de 0.5 pulg.

Tabla VI. Tamaños de boquillas según potencia teórica.

<b>INTERVALOS DE POTENCIA (HP)</b>	<b>INTERVALOS DE CONSUMO DE AIRE (lb/h)</b>	<b>DIAMETRO DE BOQUILLA (plg.)</b>
<b>2-6</b>	<b>10-40</b>	<b>0.500</b>
<b>5-14</b>	<b>30-94</b>	<b>0.750</b>
<b>12-35</b>	<b>80-230</b>	<b>1.183</b>

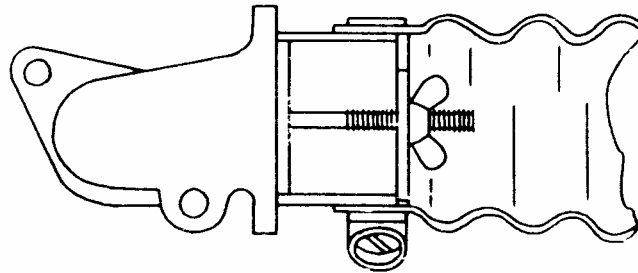
#### 2.6.4.2 Conexión y operación de este aparato

Utilice como guía el siguiente procedimiento y disponga el medidor de flujo de aire para su empleo con el motor BRIGGS & STRATTON como sigue:

- a) instale la tobera de tamaño apropiado 12.5 mm. (0.50 plg.) en el tambor de amortiguación a pulsos.
- b) Quite el filtro de aire del motor.
- c) Conecte el tambor de amortiguación de pulsos con la toma de aire del motor por medio de la manguera de hule como se indica a continuación:

- 1) fije el adaptador de la manguera de hule a la toma de aire en el lugar del filtro de aire estándar y asegúrela en un sitio con la tuerca de mariposa proporcionada con el adaptador.

**Figura 33. Conexión del adaptador de la toma de aire.**

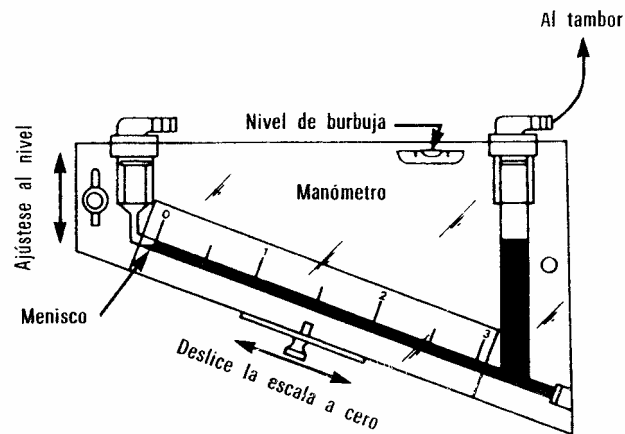


- 2) Ponga la abrazadera de sujeción sobre el extremo de la manguera flexible de 50.8 mm. (2 plg.) que viene del tambor de amortiguación de pulsos.
  - 3) Haga entrar la manguera sobre el adaptador y sujétela con la abrazadera.
  - 4) Revise ambos extremos de la manguera y asegúrese de que las conexiones sean herméticas.
- d) Nivele y ponga en cero el manómetro como sigue:

- 1) Afloje el tornillo de montaje de la izquierda.
- 2) Nivele el manómetro centrado la burbuja del nivel ínter construido.
- 3) Apriete de nuevo el tornillo de montaje de la izquierda.
- 4) Ajuste hasta cero deslizando la escala hacia uno y otro lado hasta el menisco de aceite rojo este alineado con el cero de la escala.

NOTA: Un menisco es la superficie curva formada por un líquido colocado en un tubo. La curvatura se acentúa más a medida que disminuye el diámetro de dicho tubo.

**Figura 34. Medidor de vacío.**



2.6.4.3 Empleo del medidor de flujo de aire para medir el consumo de este.

Antes de arrancar el motor repase la revisión preoperacional y los procedimientos de arranque.

a) Ponga el control de carga en posición mínima (girando la perilla hasta el tope en el sentido del reloj)

b) Arranque el motor y ajuste el acelerador para 2500 r.p.m espere unos segundos para que se caliente.

c) Con el motor girando a 2500 r.p.m y carga mínima registre la lectura del manómetro.

Lectura del manómetro: 0.6 pulgadas de agua

La superficie curva (menisco) del aceite rojo del manómetro se debe a su tensión superficial. Será convexa a la pared interior del tubo esta seca y cóncava cuando dicha pared esta mojada. Se obtienen valores de presión mas exactas, utilizando para la lectura el centro del menisco en vez de sus bordes.

El manómetro es mas exacto solo entre lecturas de 0.2 y 3.0 pulgadas de agua. Las lecturas fuera de estos límites son difíciles de determinar con exactitud o bien afectan nocivamente el control de la mezcla del carburador.

El diagrama proporciona los medios para convertir las lecturas de presión (o de vacío) del manómetro en pulgadas de agua, en valores mas significativos de flujo de aire expresados en pies cúbicos por minuto (pies<sup>3</sup>/min.) y libras por hora (lb./h) o bien en lit./min. y kg./h multiplicados por los factores correspondientes. Las lecturas del manómetro se hallan en la parte inferior del diagrama el flujo del aire en pies<sup>3</sup>/min. se indica en el lado izquierdo y el flujo en lb./h esta marcado en el lado derecho. Los valores en unidades métricas (litros /min. y kg. /h) se obtiene multiplicando por los factores indicados. Observe que hay una curva específica para cada tamaño de boquilla. Como se utiliza en este caso la de 12.5 mm. (0.50 plg.), se debe emplear la curva central.

Utilizando una lectura del manómetro obtenida, determine la intensidad del flujo del aire por medio del diagrama.

Consumo de aire = 3.7 pies<sup>3</sup>/min.

Equivalente a = 17 lb. /h  
= 104.71 litros/min.  
= 7.71 Kg. /h

d) Aumente con lentitud la apertura del acelerador dando carga simultáneamente al motor, hasta que el acelerador este totalmente abierto y la velocidad del motor sea de 2500 r.p.m.

e) Regístrese la lectura del manómetro.

Lectura del manómetro = 0.8 pulgadas de agua

f) Utilizando el diagrama convierta esta lectura en un valor de flujo de aire.

Consumo de aire = 4.5 pies<sup>3</sup>/min.

Equivalente= 20.5 lb./h  
= 127.35 litros/min.  
= 9.29 kg. /h

g) Varíe el ajuste del control de carga hasta que el tacómetro indique una velocidad del motor de 3000 r.p.m.

h) Ajuste la lectura del manómetro.

Lectura del manómetro = 0.9 pulgadas de agua

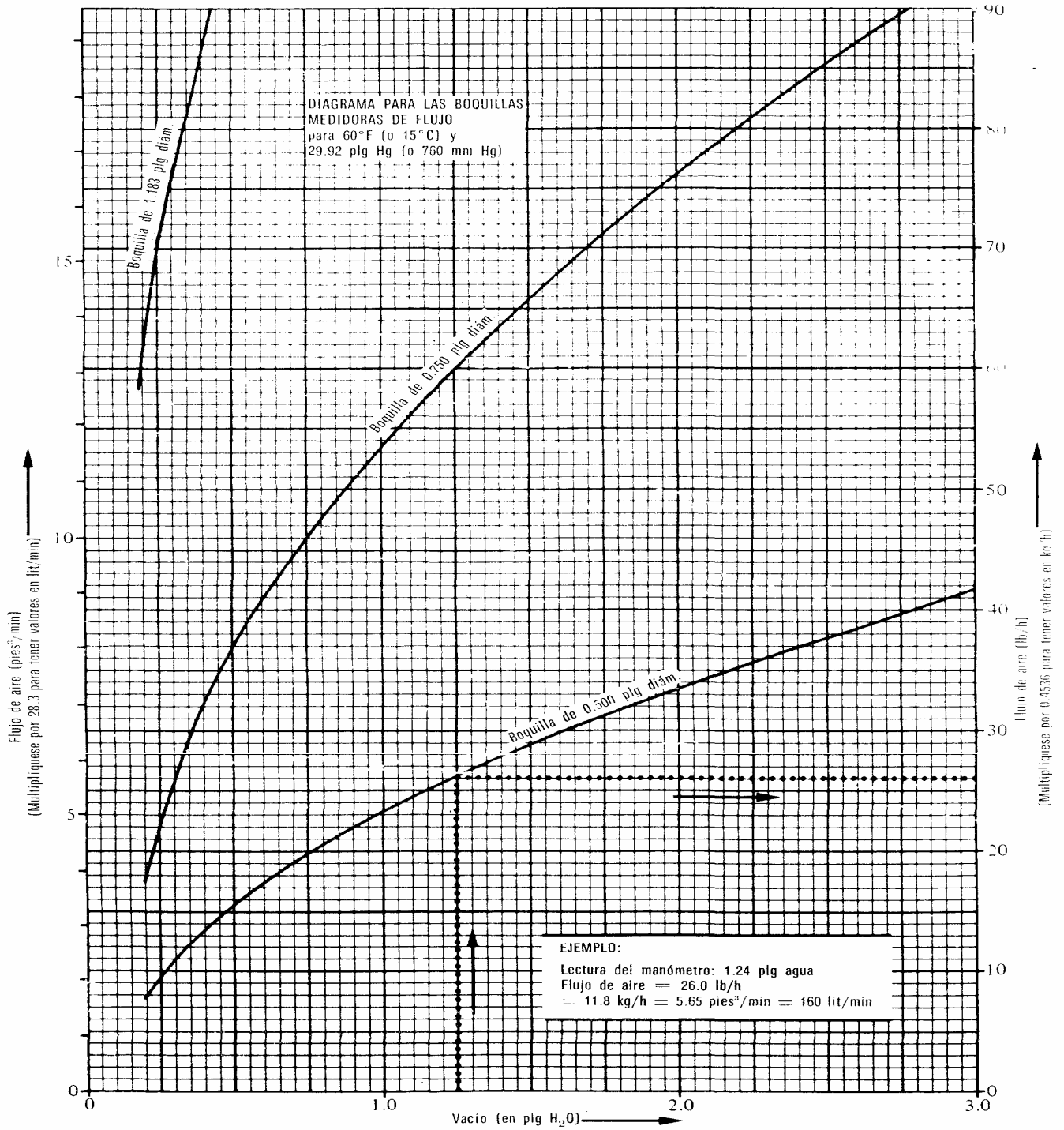
i) Utilizando la gráfica convierta esta lectura en un valor de flujo de aire.

Consumo de aire = 4.9 pies<sup>3</sup>/min.

Equivalente = 22.5 lb./h  
= 138.67 litros/min.  
= 10.2 kg./h



Figura 35. Diagrama de las boquillas medidoras de flujo.



Con base al anterior experimento y sus resultados se puede obtener las siguientes conclusiones:

- El consumo de aire se incremento de carga mínima a carga máxima durante el funcionamiento a revoluciones constantes de 2500 r.p.m.
- El consumo de aire se incremento de 2500 r.p.m a 3000 r.p.m, cuando la carga fue reducida en el motor sin variar la posición de la mariposa de los gases.
- El cambio en el consumo de aire por aumento de carga a revoluciones constantes no fue proporcional al de aumento de revoluciones por disminución de carga.
- El segundo aumento en el consumo fue menor al primero que se experimento.
- El cambio o el aumento en el consumo de aire en el experimento a 2500 r.p.m, aumentando la carga se atribuye a que la mariposa de los gases se abre mas, permitiendo la entrada de mas flujo de aire y mas mezcla aire combustible, lo que se traduce en mas desarrollo de potencia lo que permite vencer la mayor carga impuesta aun a las mismas revoluciones.
- El aumento en el consumo de aire experimentado a causa del incremento en el número de revoluciones (de 2500 a 3000 r.p.m) por la disminución de carga fue menor al producido por el aumentó en la abertura de los gases, esto es debido a que aunque el motor aumento sus revoluciones y consumió más aire, la mariposa de los gases estuvo en la misma posición, lo que quiere decir que el aumento se debió a una mayor velocidad del flujo de aire, pero a su vez, esto restringe de cierta forma en el venturi y provoca que el motor trabaje con vacío parcial.

- Es de suma importancia para obtener lecturas objetivas la hermeticidad de las conexiones y el buen estado de las mismas.
- El manómetro de líquido es un instrumento de medición que trabaja en base a un diferencial de presión entre un depósito (amortiguador de impulsos) y la presión atmosférica. Cuando el motor no está en operación las presiones a ambos lados son las mismas, pero cuando el motor está en funcionamiento, y aspira aire del amortiguador de impulsos, este genera un vacío parcial ya que el ingreso de aire a este está limitado por medio de la boquilla, con lo que se logra una diferencia de presiones en el manómetro y así también una lectura del mismo.
- La diferencia de presiones en el manómetro es proporcional al consumo de aire del motor, sin embargo bajo distintas cargas el motor puede variar sus requerimientos de masa de aire.
- Los motores pueden variar además el consumo de aire debido a condiciones atmosféricas, como lo es la temperatura del aire y la altura sobre el nivel del mar. La temperatura del aire alta (también la del motor) hace que este ocupe mayor volumen conteniendo la misma cantidad de oxígeno, lo que decrementa la potencia del motor, por otro lado a partir de los 1,500 metros sobre el nivel del mar, el motor puede comenzar a requerir compensadores de combustible y del tiempo de ignición debido a que la cantidad de oxígeno será menor.

2.6.5 Medición del consumo del par de rotación, consumo de aire y consumo de combustible con acelerador totalmente abierto y velocidad variable.

La medición de las r.p.m, el par de rotación y el cálculo de la potencia proporcionan información muy útil para comprender las características de

funcionamiento de un motor. Sin embargo, se puede aprender mucho más midiendo con precisión las cantidades de aire y combustible consumidas por el motor. Una vez que se conocen los consumos de aire y de combustible, es posible determinar la relación de aire a combustible, la eficiencia volumétrica, el consumo específico de combustible, la presión media efectiva al freno y la eficiencia térmica.

Cuando se conocen estos factores se puede obtener toda la información deseada sobre las características totales de funcionamiento de un motor.

#### 2.6.5.1 Cálculo de potencia

El cálculo de la potencia así como su definición y unidades de medida ya se han detallado en el numeral 2.3.2.

#### 2.6.5.2 Relación de aire a combustible

La relación de aire a combustible es un índice de la proporción de aire y combustible que forman la mezcla que se quema en el cilindro. La relación varía desde el arranque, pasando por la marcha mínima y la marcha con apertura parcial del acelerador, hasta la marcha con el acelerador totalmente abierto, y varía con el grado de carga.

Con base al volumen, aproximadamente se mezclan 1000 pies cúbicos de aire con cada galón de combustible consumido por el motor. La relación de aire combustible puede expresarse como sigue:

Relación de aire combustible = consumo de aire (en kg./h o lb./h)/  
Consumo de combustible (en Kg./h o lb./h)

Por ejemplo, si un motor utiliza 7.67 Kg./h (o sea 16.9 lb./h) de aire y 0.573 kg./h de combustible (o sea 1.26 lb./h), la relación mencionada es:

Relación de aire a combustible:

$$\begin{aligned} &= 7.67 \text{ (Kg./h)} / 0.573 \text{ (Kg./h)} \\ &= 16.9 \text{ (lb./h)} / 1.26 \text{ (lb./h)} \\ &= 13.4:1 \end{aligned}$$

### 2.6.5.3 Presión media efectiva al freno

La presión media efectiva al freno (PMEF) es la presión media efectiva determinada a partir de la potencia al freno durante un ciclo de operación completo. La carrera de fuerza del pistón proporciona potencia al cigüeñal. Las carreras de admisión, compresión y escape y la fricción mecánica, absorben energía de este elemento. La PMEF es la diferencia entre la presión correspondiente a la fuerza aplicada al cigüeñal en la carrera de impulso del pistón, y la suma de los valores de presión correspondientes a las otras carreras y a la fricción mecánica. Cuando se conoce el desplazamiento volumétrico la PMEF en motores de 4 tiempos se calcula como sigue:

$$\text{PMEF} = 150.8 * (\text{Par de rotación en lb.-pie}) / (\text{Desplazamiento en plg.}^3)$$

Donde la PMEF resulta en libras por pulgada cuadrada (lb./plg.<sup>2</sup> o PSI), el valor del par de rotación se lee directamente en el dinamómetro y 150.8 es una constante para cálculos en unidades inglesas de motores de 4 tiempos. La PMEF de motores de automóvil está entre 100 y 180 lb./plg.<sup>2</sup> ( o sea entre 7 y 12.7 kg./cm<sup>2</sup>).

Los motores con sobrealimentación y de alta eficiencia tienen generalmente una PMEF alta de 250 lb./plg.<sup>2</sup> (17.6 kg./cm<sup>2</sup>). El motor de gasolina BRIGGS & STRATTON tiene una PMEF de aproximadamente 85 lb./plg.<sup>2</sup> ( 6 kg./cm<sup>2</sup>). Algunos valores convencionales para otros tres motores pequeños de aplicaciones diversas son:

- Motor diesel Setter AA1: 60 lb./plg.<sup>2</sup> (4.2 kg./cm.<sup>2</sup>)
- Motor McCulloch de 2 tiempos: 65 lb./plg.<sup>2</sup> (4.57 kg./cm.<sup>2</sup>)
- Motor Wankel Seachs de 4 tiempos: 70 lb./plg.<sup>2</sup> (4.92 kg./cm.<sup>2</sup>)

La siguiente tabla da el desplazamiento en pulgadas cúbicas para el motor didáctico BRIGGS & STRATTON utilizado en el laboratorio y otros motores similares.

Tabla VII. Desplazamiento de motores similares.

MOTOR	TIPO	DESPLAZ. VOLUMETRICO
Briggs & Stratton	80300	7.75 plg <sup>3</sup> (127.0 cm <sup>3</sup> )
McCulloch	49	4.9 plg <sup>3</sup> (80.3 cm <sup>3</sup> )
Diesel Petter	AA-1	13.4 plg. <sup>3</sup> (219.5 cm <sup>3</sup> )
Wankel RC	KM-48	9.76 plg <sup>3</sup> (160.0 cm <sup>3</sup> )

Si durante la operación del motor de gasolina *BRIGGS & STRATTON* el medidor de carga indicara un par de rotación de 4.25 lb.-pie la PMEF sería:

$$\begin{aligned}
 \text{PMEF} &= (150.8 * \text{par de rotación en lb.-pie}) / (\text{Desplazamiento en plg}^3) \\
 &= (150.8 * 4.25) / 7.75 \\
 &= 640.9 / 7.75 = 83 \text{ Lb./plg.}^2
 \end{aligned}$$

#### 2.6.5.4 Consumo específico de combustible

El consumo específico de combustible (CEC) permite apreciar la eficiencia de un motor. Indica la cantidad de combustible que consume el mismo por unidad de potencia desarrollada. Si un motor utiliza un kilogramo ( o bien 1 Lb. ) de combustible por hora y por caballo de potencia (HP) producido, tendrá un CEC de 1.0 kg./h-HP (o bien, de 1.0 lb./h-HP). La equivalencia es: 1lb/h-HP = 0.4536 kg./h-HP.

El CEC de motores rotatorios como el Wankel Sachs km 48 es de 0.4 a 0.7 lb./h-HP, en el caso de motores de gasolina pequeños de 2 tiempos es de 0.7 a 1.5 lb./h-HP y para motores Diesel es de aproximadamente 0.5 lb./h-HP. Algunos motores de gran tamaño y muy perfeccionados tienen un CEC bajo, hasta de 0.3 lb./h-HP. La fórmula para calcular el consumo específico de combustible es:

$$\text{CEC} = (\text{Consumo de combustible en kg./h o en Lb./h}) / (\text{Potencia en HP})$$

El CEC varía según la velocidad del motor y la apertura del acelerador, así como la potencia. Sin embargo, cuanto menor sea el CEC para la potencia desarrollada, tanto mayor será la eficiencia del motor. Si un motor desarrolla 2.6 HP con un consumo de combustible de 1.4 lb./h, su CEC será:

$$\text{CEC} = 1.4 \text{ (lb/h)} / 2.6 \text{ (HP)} = 0.538 \text{ lb/h-HP}$$

Si mediante un ajuste cuidadoso en consume de combustible se redujera a 1.2 lb./h para la misma potencia, el CEC se reduciría a :

$$\text{CEC} = 1.2 \text{ (lb/h)} / 2.6 \text{ (HP)} = 0.46 \text{ lb/h-HP}$$



#### 2.6.5.5 Eficiencia térmica

La eficiencia térmica es la relación de la potencia desarrollada por el motor en el eje o cigüeñal a la potencia disponible en el combustible. La eficiencia térmica se representa frecuentemente por la letra griega minúscula eta. Aunque los grandes motores estacionarios de plantas de potencia, con sobrealimentación, alcanzan altas eficiencias térmicas, hasta de 40%, la mayor parte de los motores de combustión interna tienen eficiencias comprendidas entre un 15 y un 30%. Un kilogramo de combustible diesel produce cerca de 10200 kilocalorías de energía (1lb de este combustible produce 18500 BTU aproximadamente). Si un motor diesel tuviera una eficiencia térmica de 40% proporcionaría 4089 kcal. de trabajo por hora cuando consumiera aceite diesel a razón de un kilogramo por hora (o bien, 7400 BTU/h si el consumo fuera de 1 lb./h). Como el CEC, la eficiencia térmica varía según la velocidad del motor o la apertura del acelerador. Tiene un valor máximo solamente en un punto de operación. Cuando se conoce el consumo específico de combustible, la eficiencia térmica se calcula por medio de la ecuación:

$$\text{Eficiencia térmica} = (13.2\%) / (\text{CEC en } 1 \text{ lb./h-HP})$$

Un motor con un CEC de 0.46 lb./h-HP tendría una

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{13.2\%}{0.46 \text{ lb/h-HP}} = 28.7\%$$

#### 2.6.5.6 Eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica es la relación del volumen de la mezcla de aire y combustible admitida en la cámara de combustión cuando el motor funciona, al volumen real de aquella. Si la cámara pudiera llenarse completamente en cada carrera de admisión, la eficiencia volumétrica sería de 100%.

En el funcionamiento real lo anterior no puede realizarse debido a diferentes factores. Para que el aire entre al cilindro, este debe aspirarlo y para ello debe contrarrestar la inercia que tiene el aire. Además hay cierta cantidad de fricción entre el aire y las paredes del sistema de entrada, particularmente en la válvula de admisión y debido a ello, se reduce la cantidad de aire que entra al cilindro. La temperatura y la presión del aire afectan la eficiencia volumétrica, si se emplean lumbreras y válvulas de gran tamaño o bien un sobrealimentador (que es un compresor o soplador para alimentación forzada que introduce el aire al o a los cilindros a presión mas alta que la atmosférica.

La eficiencia volumétrica de motores de gasolina no sobrealimentados esta entre 60 y 80%. Los motores con sobrealimentación pueden alcanzar eficiencias hasta de 200%. La formula para calcular la eficiencia volumétrica es:

Eficiencia volumétrica =  $75500 * (\text{consumo de aire en lb./h}) / ((\text{Desplazamiento en plg.}^3) * \text{r.p.m})$ .

La potencia de un motor de gasolina se controla mediante la apertura de la mariposa de los gases del carburador. Si el motor de

gasolina BRIGGS & STRATTON utilizara 35 lb./h de aire a 3000 r.p.m la eficiencia antes mencionada sería:

Eficiencia volumétrica =  $75500 \times (\text{consumo de aire}) / (\text{Desplazamiento} \times \text{r.p.m})$

$$= 75500 \times (24 \text{ lb/h}) / (7.75 \text{ plg}^3 \times 3000 \text{ RPM})$$

$$= 1812000 / 23250$$

$$= 77.93 \%$$

#### 2.6.5.7 Trazo de gráficas de funcionamiento

Para llevar a cabo este laboratorio complete con detenimiento el siguiente procedimiento:

- 1) Conecte el medidor de flujo de combustible al motor siguiendo los pasos descritos en el Experimento de laboratorio 2.6.3. Compruebe que el rotámetro tenga instalada la bola roja.
- 2) Conecte al motor el medidor de flujo de aire (con la boquilla de 12.5 mm. o 050 plg.) siguiendo los pasos descritos en el experimento de laboratorio 2.6.4. No olvide nivelar y poner en cero el manómetro.
- 3) Asegúrese que las conexiones de las mangueras de aire y de combustible estén bien apretadas (herméticas).
- 4) Ponga la perilla de control de carga mínima (haciéndola girar hasta el tope en el sentido del reloj)

- 5) Arranque el motor y ajuste el acelerador para 2000 r.p.m y déjelo calentar durante algunos momentos.
- 6) Aumente lentamente la apertura del acelerador a la posición de abierto totalmente, mientras se aumenta la carga al grado necesario para mantener la velocidad del motor a 3600 r.p.m.
- 7) Registre el valor del par de rotación y las indicaciones del manómetro y el rotámetro para 3600 r.p.m en la tabla de datos para análisis del motor.
- 8) Calcule la potencia para 3600 r.p.m.

HP = Par de rotación en lb./pie X r.p.m/5250

$$= \frac{3.3 \text{ lb./pie} \times 3600}{5250} = 2.26 \text{ HP}$$

- 9) Utilice el diagrama de flujo de aire del experimento de laboratorio 2.6.4 y determine el consumo de aire en lb./h correspondiente a 3600 r.p.m.

Lectura del manómetro = 1 pulgada de agua

Consumo de aire = 23 lb./h

- 10) Por medio del diagrama de flujo de combustible del experimento de laboratorio 2.6.3 y determine el consumo de combustible en lb./h para 3600 r.p.m.

Lectura del rotámetro = 5.6

Consumo de combustible = 1.5 lb./h

11) Divida el consumo de aire entre el consumo de combustible para obtener la relación de aire a combustible.

Relación de aire a combustible =  $23 \text{ lb./h} / 1.5 \text{ lb./h} = 15.33 : 1$

12) Utilizando el consumo de combustible y la potencia en HP, calcule el consumo específico de combustible CEC.

CEC = Consumo de combustible / HP

$= 1.5 \text{ lb./h} / 2.26 \text{ HP} = 0.66 \text{ lb./h-HP}$

13) Empleando el consumo de aire y el desplazamiento volumétrico calcule la eficiencia volumétrica.

Eficiencia volumétrica = 75500 X (Consumo de aire) / (Desplazamiento X r.p.m)

$$= 75500 \times 23 \text{ lb./h} \quad / \quad 7.75 \text{ plg}^3 \times 3600$$

$$= 1736500 \quad / \quad 27900$$

$$= 62.64 \%$$

14) Empleado el par de rotación y el desplazamiento volumétrico calcule la presión media efectiva al freno.

PMEF = (150.8 X par de rotación en lb.-pie) / Desplazamiento

$$= 150.8 \times 3.3 \text{ lb./pie} \quad / \quad 7.75 \text{ plg}^3$$

$$= 497.64 \text{ lb.-pie} \quad / \quad 7.75 \text{ plg}^3$$

$$= 64.2 \text{ lb./plg}^2$$

15) Mediante el consumo específico de combustible calculado en (12) determine la eficiencia térmica.

Eficiencia térmica = (13.2%) / CEC

$$= 13.2\% \quad / \quad 0.66 \text{ lb./h-HP}$$

$$= 20\%$$

- 16) Anote los valores calculados desde (3) hasta (15) en las líneas correspondientes a 3600 r.p.m en la tabla de datos para el análisis del motor.
- 17) Utilizando el control de carga, ajuste la velocidad del motor sucesivamente a las r.p.m restantes indicadas en la tabla de datos.
- 18) Registre el valor del par de rotación y las indicaciones del manómetro y el rotámetro para cada velocidad en la tabla de datos.
- 19) Calcule la potencia, el consumo de aire (en lb./h), el consumo de combustible, el CEC, la eficiencia volumétrica. La PMEF y la eficiencia térmica para cada velocidad en r.p.m y anótelos en la tabla de datos.
- 20) Realice gráficas que demuestren el comportamiento del motor

**Tabla VIII. Resultados de medición, según revoluciones variables.**

<b>RPM</b>	<b>1200</b>	<b>1600</b>	<b>2000</b>	<b>2400</b>	<b>2800</b>	<b>3200</b>	<b>3600</b>
<b>Par de rotación (lb-pie)</b>	2	2.5	3	3.4	3.8	3.6	3.3
<b>Manómetro (plg H<sub>2</sub>O)</b>	0.2	0.3	0.4	0.45	0.55	0.7	1
<b>Rotámetro</b>	3.6	4	4.2	4.3	4.8	5.2	5.6
<b>Potencia (HP)</b>	0.45	0.76	1.14	1.55	2.02	2.19	2.26
<b>Consumo de aire (lb/h)</b>	8	11	13	14	16	19	23
<b>Consumo de comb (lb/h)</b>	0.6	0.8	0.9	1	1.1	1.3	1.5
<b>Rel. De aire a comb.</b>	13.33	13.75	14.44	14	14.54	14.61	15.33
<b>CEC (lb/h.HP)</b>	1.33	1.05	0.79	0.57	0.51	0.59	0.66
<b>Efic. Volumetrica (%)</b>	65	67	63	57	56	58	62
<b>PMEF (lb/plg<sup>2</sup>)</b>	38.9	49	58.4	66	74	70	64.2
<b>Efic.termica (%)</b>	9.92	12.6	16.7	23.15	25.9	22.4	20



Figura 36. Gráfica de par de rotación (Lb.-pie)

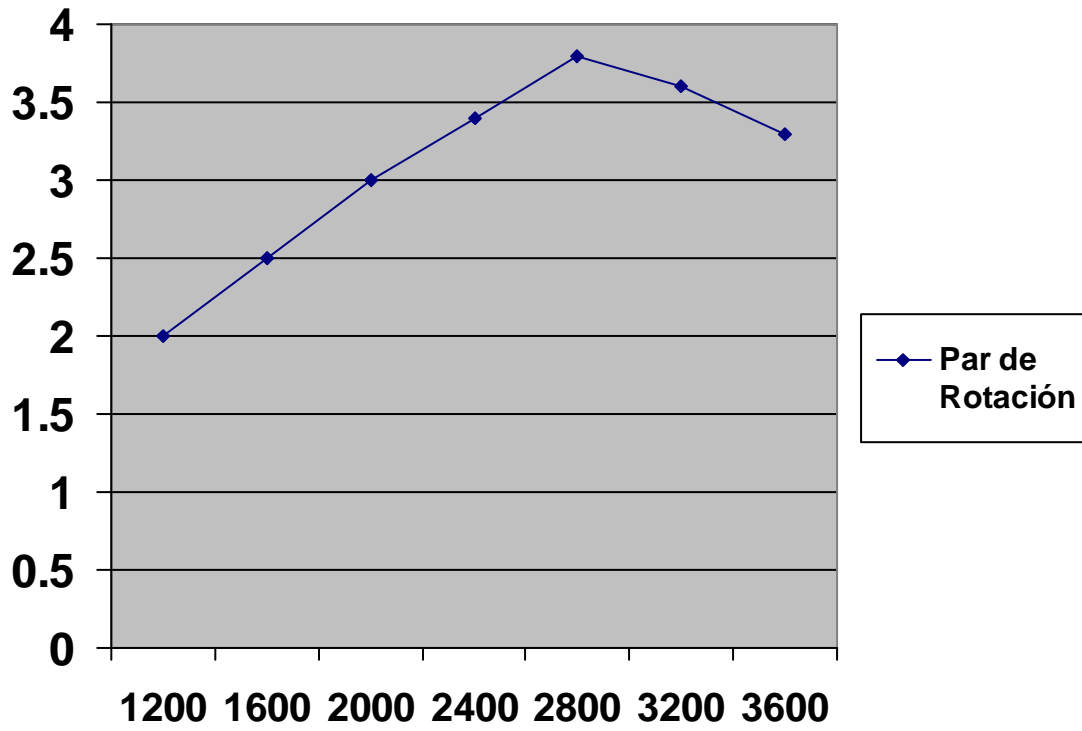


Figura 37. Gráfica de potencia (HP)

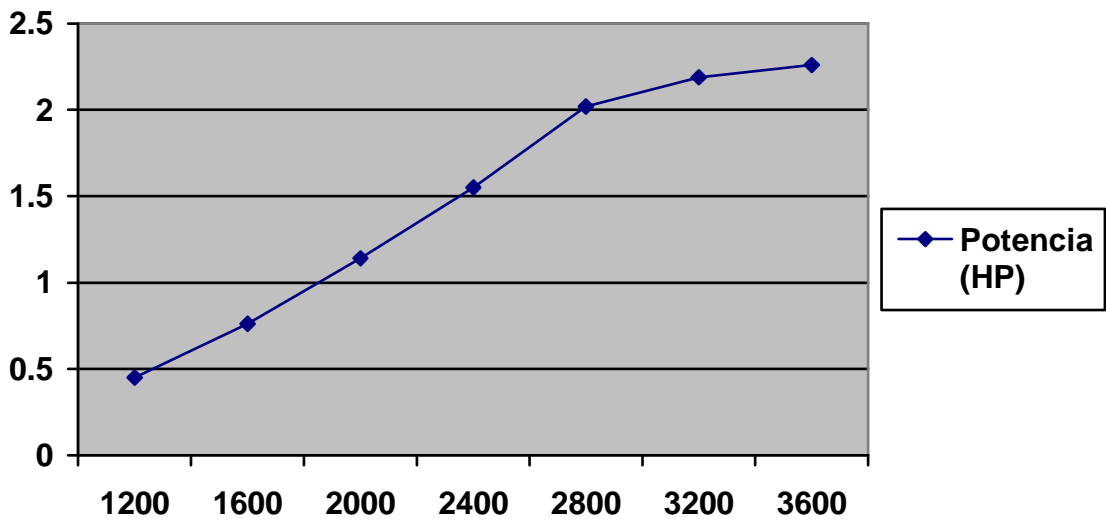


Figura 38. Gráfica de relación de aire a combustible

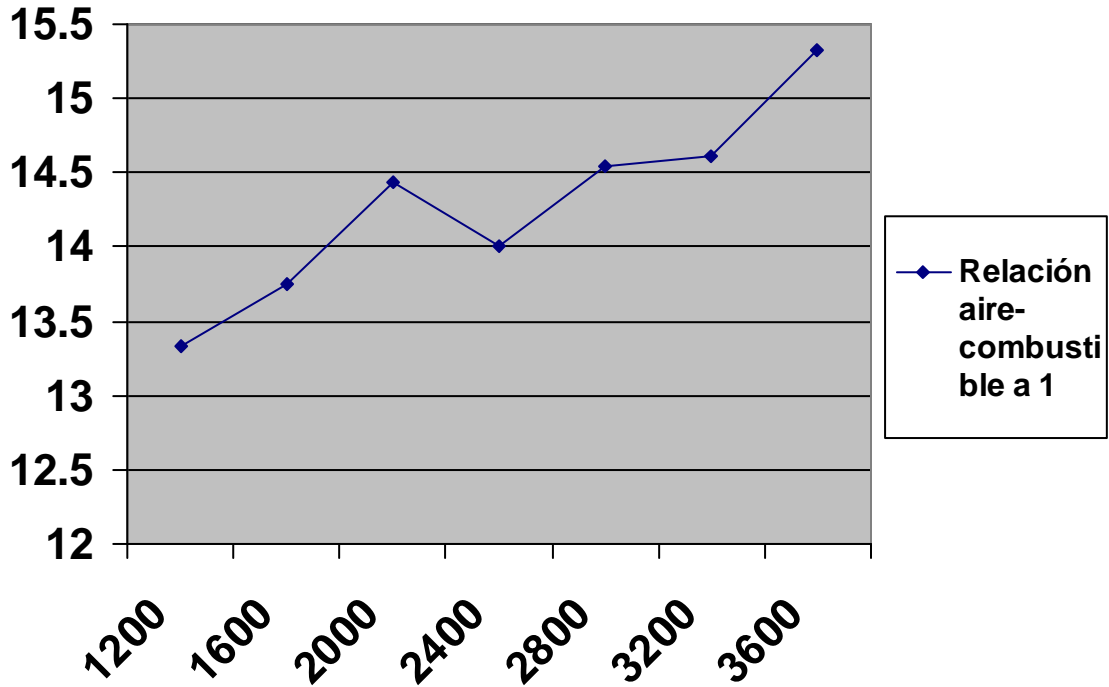


Figura 39. Gráfica de consumo específico de combustible (lb./h/HP)

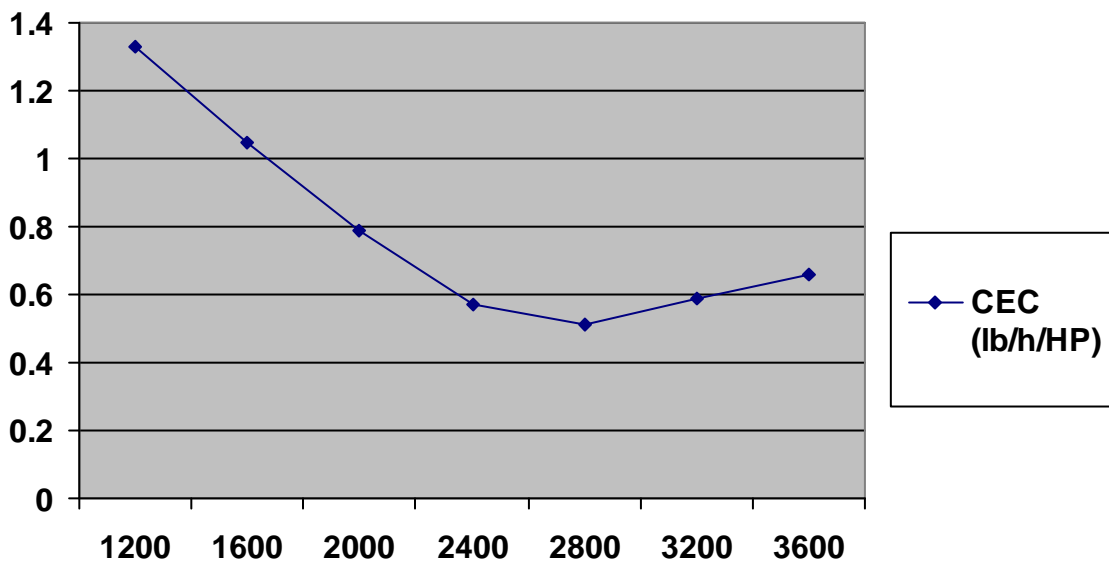


Figura 40. Gráfica de eficiencia volumétrica (%)

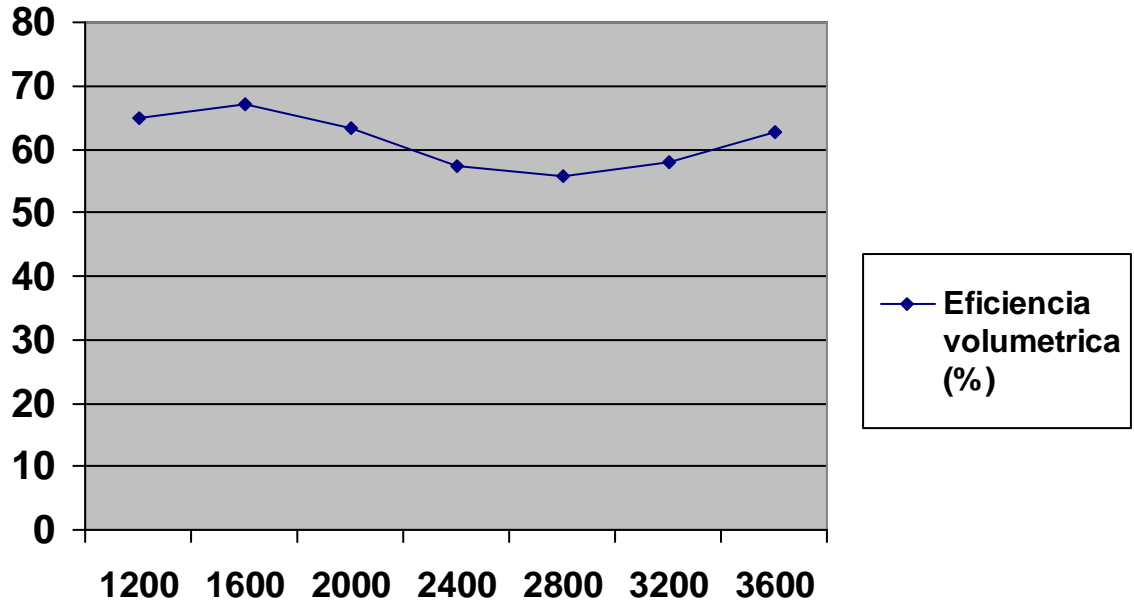
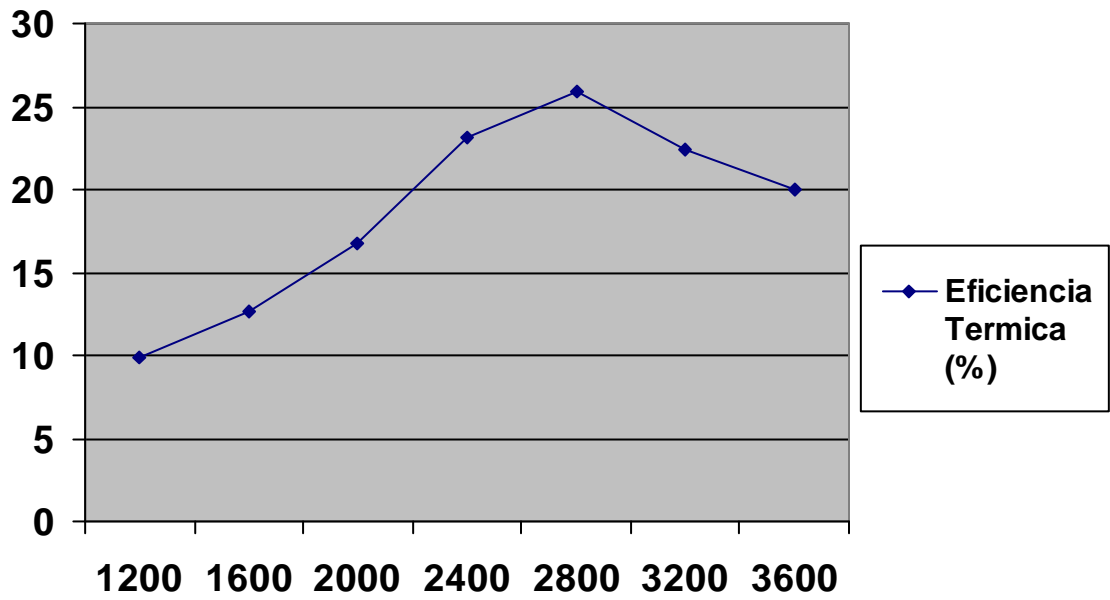


Figura 41. Eficiencia térmica (%)



En base a los datos obtenidos en el anterior laboratorio concluimos lo siguiente:

- La velocidad en la que se alcanzo el par de rotación máximo fue a 3200 r.p.m.
- La velocidad en la que obtuvimos la mayor potencia fue a 3600 r.p.m
- Las dos curvas correspondientes a par de rotación y potencia no son constantes a diferentes revoluciones, debido a que el par decae a cierto número de revoluciones debido a la menor eficiencia volumétrica, mientras que la curva de potencia sigue aumentando aunque con una menor pendiente debido a que depende directamente del número de revoluciones.
- Si el motor estuviera montado en un generador o una bomba de agua, seria útil que trabajara alrededor de las 3000 r.p.m, debido a que es en estas revoluciones donde se obtiene un par de rotación y una eficiencia térmica óptimas.
- La relación de combustible recomendada para obtener potencia máxima con el acelerador totalmente abierto es alrededor de las 14 y 14.5 partes de aire por una de gasolina.
- La relación de aire a combustible es variable en el motor debido que a bajas revoluciones se necesita una mezcla mas rica para mantener en funcionamiento el motor, mientras que a altas revoluciones se puede incluso empobrecer sin sacrificar la potencia.
- La eficiencia térmica varía debido a que a bajas revoluciones el motor produce muy poca potencia pero consume relativamente más combustible, mientras que a altas revoluciones se obtiene mejores resultados con un incremento mínimo en el consumo de combustible.

- El motor no desarrolla su potencia teórica de 3HP por diversas causas, pero la principal se debe a desajustes en el motor, como por ejemplo desgastes de los aros de pistón así como falta de estanqueidad en los asientos de las válvulas, lo que provoca pérdidas en la compresión, puede ser también a un mal ajuste de la mezcla en el carburador o a una aguja descalibrada.
- La eficiencia volumétrica se incrementa a medida que disminuyen las revoluciones, esto se debe a que el cilindro cuenta con más tiempo para ser llenado, se obtiene una eficiencia proporcional hasta el número de revoluciones en las que se da el par máximo, posterior a esto a altas revoluciones disminuye considerablemente.

#### 2.6.6 Par de rotación, consumo de aire y combustible a velocidad constante y apertura variable del acelerador

El proceso de mantener la mezcla adecuada o necesaria según las condiciones de carga y velocidad impuestas al motor es una tarea sumamente delicada que tiene a su cargo el carburador. Los carburadores modernos fueron perfeccionados e incluso equipados con sensores y actuadores electrónicos que corregían la mezcla según las necesidades del motor.

Sin embargo por muy sofisticado que fuera un carburador no cumplía con las necesidades ambientales, por lo que fue sustituido por la inyección de combustible. La inyección de combustible a presión debe iniciarse y detenerse instantáneamente cuando sea requerida. El motor didáctico cuenta con un carburador sencillo, por lo que las relaciones de mezcla aire combustible suelen variar en cuanto a velocidad y carga. En el presente laboratorio experimentaremos el rendimiento del motor variando la

apertura del acelerador, además se analizarán las otras características de funcionamiento y se observará como se comporta cuando se le hace operar con apertura parcial del acelerador.

Procedimiento:

1. Conecte al motor el medidor de flujo de combustible siguiendo los pasos descritos en el experimento 2.6.3. Utilice la bola roja en el rotámetro.
2. Conecte al motor el medidor de flujo de aire (utilizando la boquilla de 12.5 mm. o de 0.5 plg.) siguiendo el método señalado en el experimento de laboratorio 2.6.4. Asegúrese de nivelar y poner en cero el manómetro.
3. Revise que las conexiones de las mangueras de aire y de combustible sean herméticas.
4. Ponga la perilla de control de carga en carga mínima girándola a favor de las agujas del reloj.
5. Arranque el motor y ajuste el acelerador para 2500 r.p.m. Déjelo calentar durante un tiempo.
6. Aumente lentamente la apertura del acelerador hasta la posición totalmente abierta (100%) mientras aumenta la carga para mantener la velocidad en 2500 r.p.m.
7. Anote en la tabla de datos para análisis del motor el valor del par de rotación las indicaciones del manómetro y el rotámetro para una apertura del acelerador de 100%.
8. Ajuste el acelerador a los porcentajes de apertura restantes indicados en la hoja mencionada. Ajuste el control de carga para

mantener la velocidad del motor en 2500 r.p.m para cada posición del acelerador.

9. Anote el valor del par de rotación y las indicaciones del manómetro y el rotámetro en las columnas correspondientes para cada cambio en el ajuste del acelerador.
10. Quite la carga, reduzca la apertura del acelerador hasta la de marcha mínima y pare el motor.
11. Calcule la potencia, el consumo de aire , el consumo de combustible, la relación de aire a combustible, el consumo específico de combustible (CEC), la eficiencia volumétrica, La presión media efectiva al freno (PMEF) y la eficiencia térmica para cada ajuste del acelerador y anote los resultados en la hoja de datos para análisis del motor.
12. Grafique los resultados y trace las curvas respectivas.

#### 2.6.6.1 Cálculo de potencia

Para calcular la potencia utilizamos la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{T * r.p.m}{5250}$$

Tabla IX. Resultados de par y potencia a apertura variable.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Par de rotacion (lb-pie)	0.5	1.6	2.6	3.6	3.5
Potencia en HP	0.23	0.76	1.23	1.71	1.66

Tabla X. Lectura del manómetro en plg. H2O.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Lectura del manómetro (plg h20)	0.2	0.25	0.35	0.43	0.47
Consumo de aire (lb/h)	5	8	12	14	15

Tabla XI. Lectura del rotámetro.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Lectura del rotámetro	3	3.6	4.2	4.3	4.4
Consumo de combustible (lb/h)	0.4	0.5	0.9	1	1.1

#### 2.6.6.2 Relación de aire a combustible

Para calcular la relación de aire a combustible utilizamos la siguiente ecuación:

$$\text{Relación de aire a Combustible} = \frac{\text{Consumo de aire (en kg./h o lb./h)}}{\text{Consumo de combustible (en Kg./h o lb./h)}}$$

Y se obtuvieron los siguientes datos:



Tabla XII. Relación de combustible.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Relación de Combustible a 1	12.5	13.33	13.33	14	13.63

#### 2.6.6.3 Presión media efectiva al freno (PMEF)

Para calcular la presión media efectiva al freno utilizamos la siguiente ecuación:

$$PMEF = 150.8 * (\text{Par de rotación en lb.-pie}) / (\text{Desplazamiento en plg.}^3)$$

Y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XIII. Presión media efectiva al freno.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
PMEF (lb/plg <sup>2</sup> )	0.72	31.13	50.59	70.04	68.61

#### 2.6.6.4 Consumo específico de combustible (CEC)

Para obtener el consumo específico de combustible se utiliza la siguiente ecuación:

$$CEC = (\text{Consumo de combustible en Kg./h o en Lb./h}) / (\text{Potencia en HP})$$

Y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XIV. Consumo específico de combustible.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
CEC (lb/h-HP)	1.73	0.78	0.73	0.58	0.66

#### 2.6.6.5 Eficiencia térmica

Para obtener la eficiencia térmica se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia térmica} = (13.2\%) / (\text{CEC en } 1 \text{ lb./h-HP})$$

Y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XV. Eficiencia térmica.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Eficiencia termica (%)	7.63	16.92	18.02	22.75	20

#### 2.6.6.6 Eficiencia volumétrica

Para obtener la eficiencia volumétrica se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia volumétrica} = 75500 * (\text{consumo de aire en lb./h}) / ((\text{Desplazamiento en plg.}^3) * \text{r.p.m})$$

Y se tabularon los siguientes datos:

Tabla XVI. Eficiencia volumétrica.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Eficiencia volunetrica (%)	19.48	31.17	46.76	54.55	58,45

2.6.6.7 Trazo de gráficas de funcionamiento

Tabla XVII. Cuadro de resumen de datos

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Par de rotación (lb-pie)	0.5	1.6	2.6	3.6	3.5
Manómetro (plg H2O)	0.2	0.25	0.35	0.43	0.47
Rotámetro	3	3.6	4.2	4.3	4.4
Potencia (HP)	0.23	0.76	1.23	1.71	1.66
Consumo de aire (lb/h)	5	8	12	14	15
Consumo de comb (lb/h)	0.4	0.6	0.9	1	1.1
Rel. De aire a comb.	12.5	13.33	13.33	14	13.63
CEC (lb/h.HP)	1.73	0.78	0.73	0.58	0.66
Efic. Volumetrica (%)	19.48	31.17	46.76	54.55	58.45
PMEF (lb/plg2)	9.72	31.13	50.59	70.04	68.1
Efic.termica (%)	7.63	16.92	18.02	22.75	20

Figura 42. Gráfica de potencia (HP)

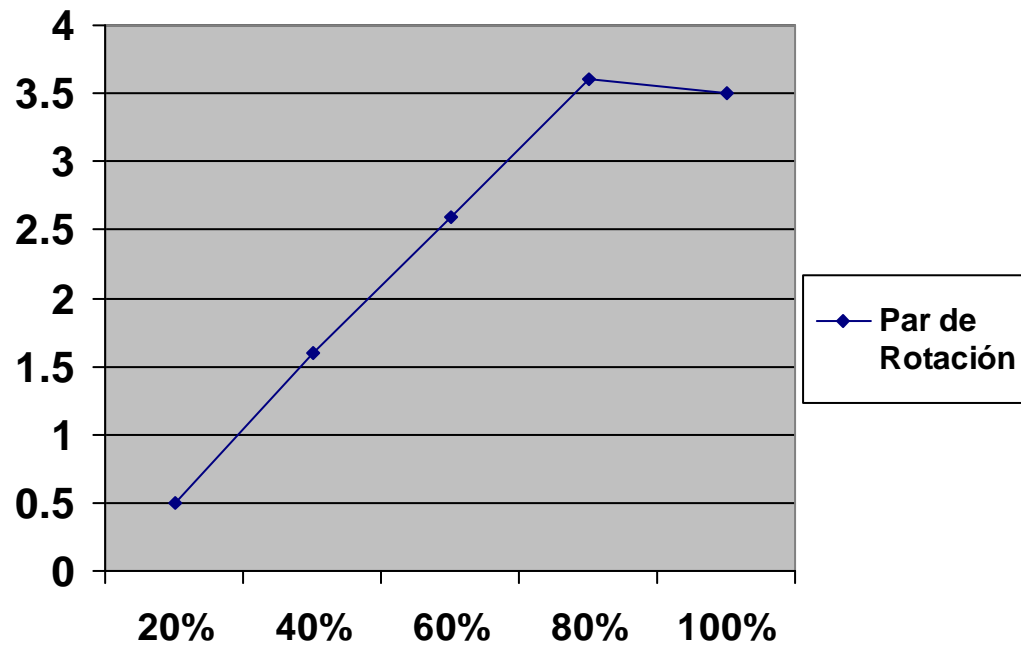


Figura 43. Gráfica de relación de aire a combustible

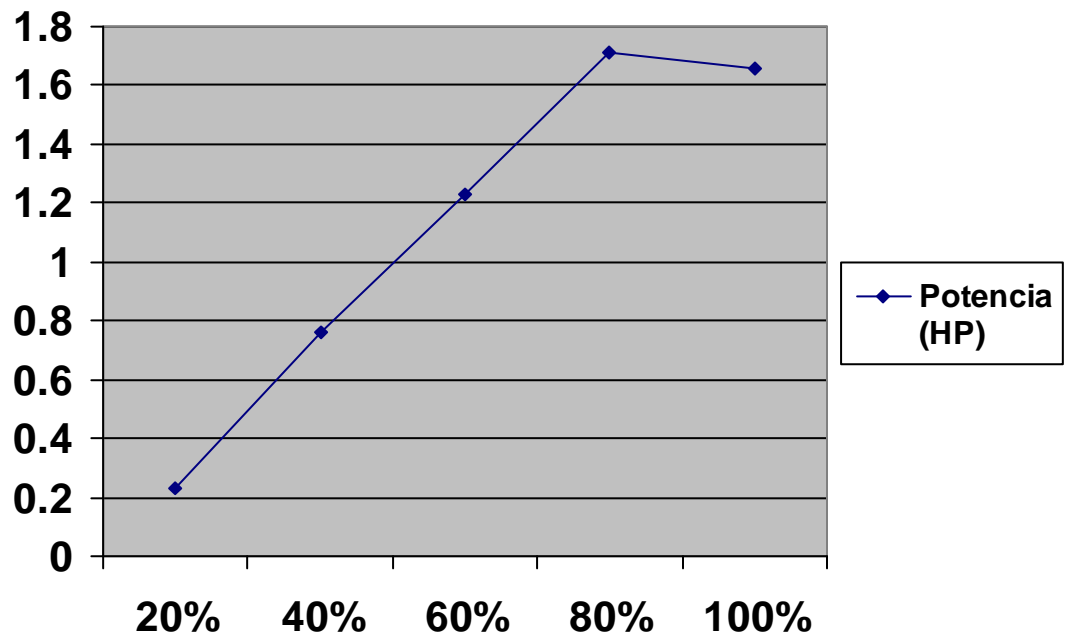


Figura 44. Gráfica de relación de aire a combustible

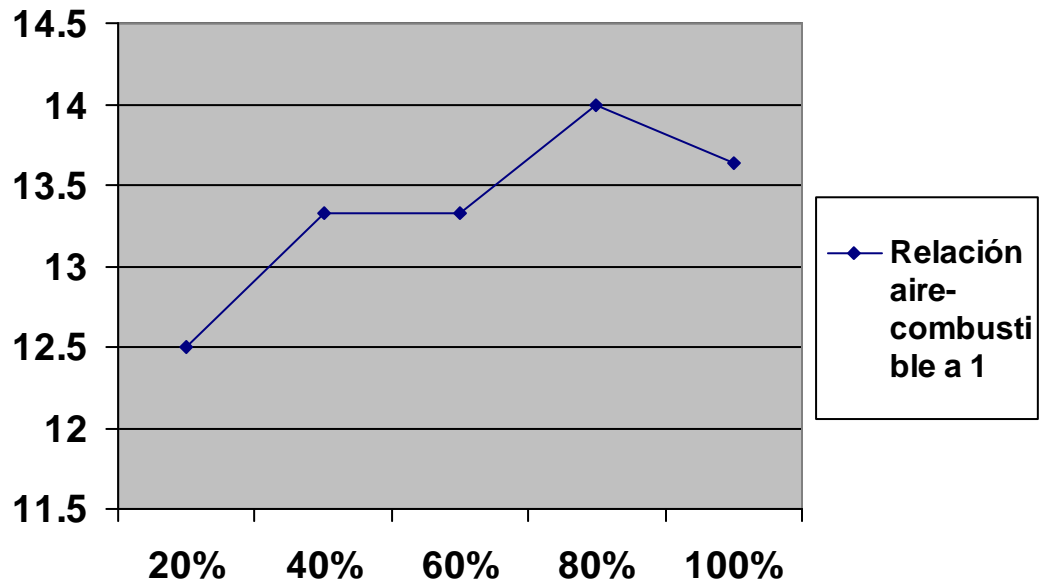


Figura 45. Gráfica de consumo específico de combustible (lb./HP)

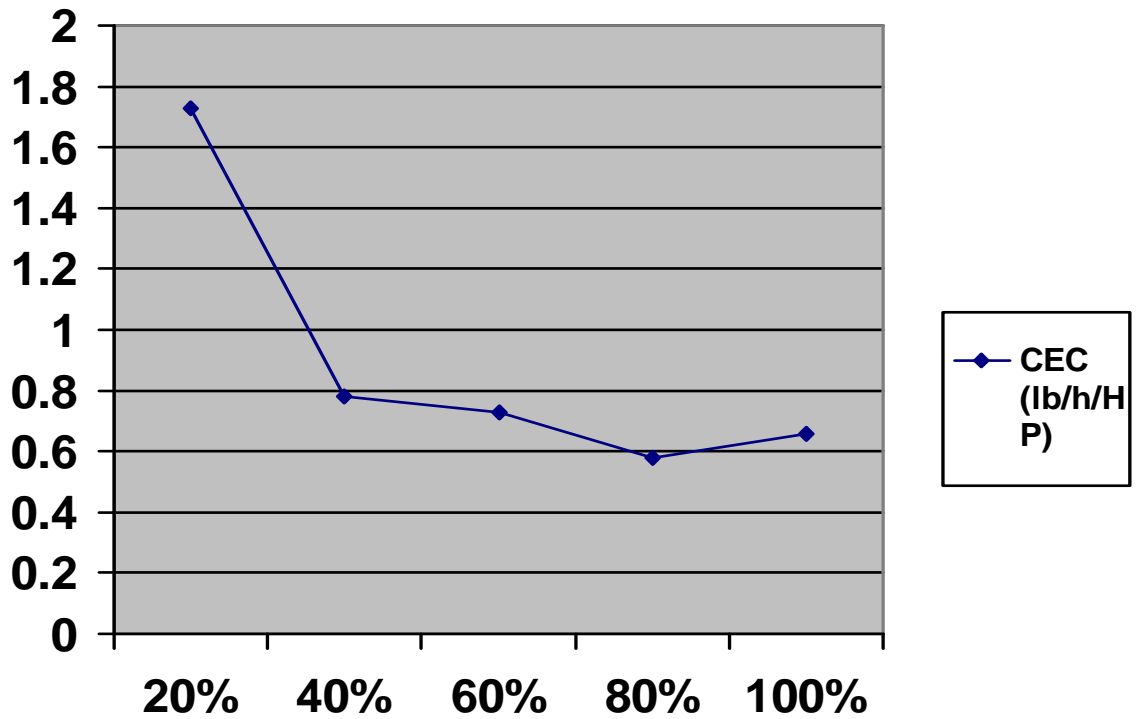


Figura 46. Gráfica de eficiencia volumétrica (%)

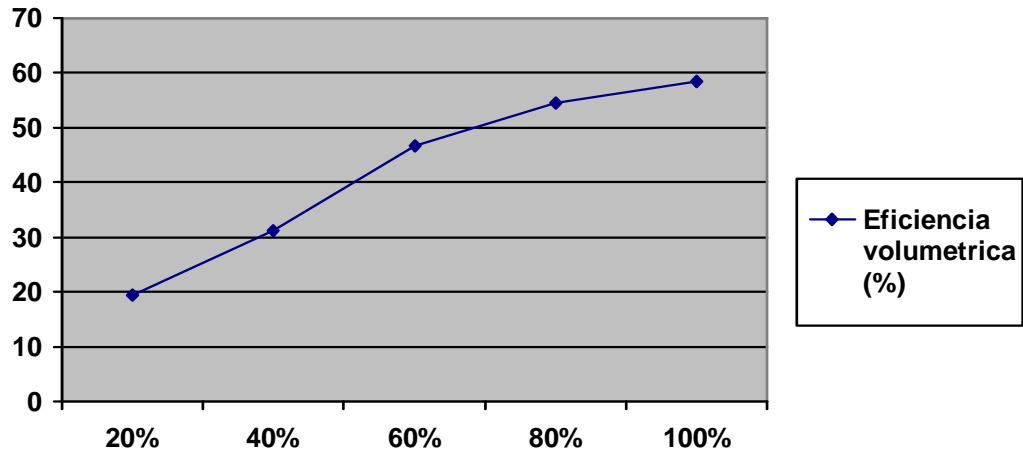
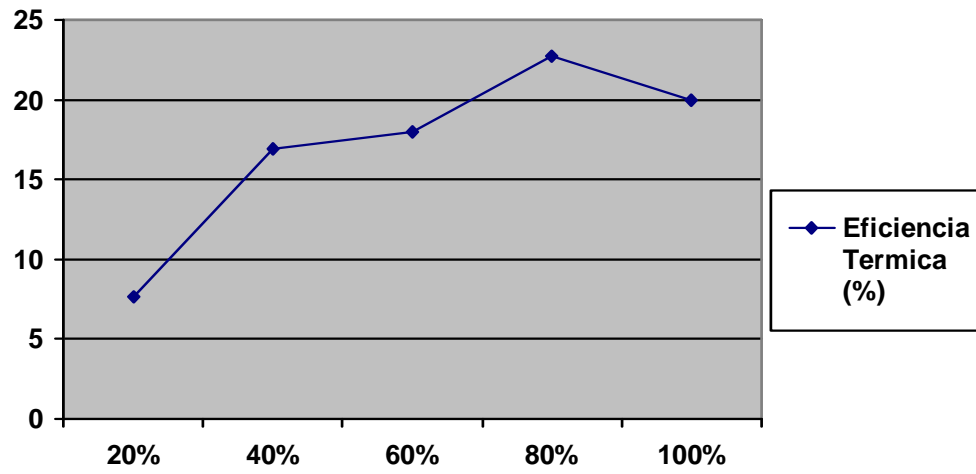


Figura 47. Eficiencia térmica (%)



Con base a los resultados obtenidos en el anterior laboratorio, concluimos lo siguiente:

- La curva de potencia varia con respecto a la curva de potencia del experimento 2.6.5 principalmente en el ultimo dato, debido a que en este experimento se mantiene una velocidad constante de 2500 r.p.m y disminuye levemente el torque, mientras que en el grafico anterior, las r.p.m siguen aumentando y aunque el torque decline al efectuar las operaciones obtenemos un aumento en la potencia.
- La relación de aire a combustible bajo carga mínima se enriquece notablemente, esto se debe a que el motor necesita una mezcla más rica para funcionar a bajas velocidades y el carburador la debe proveer.
- La relación de aire a combustible a carga máxima es algo mas económica, debido a que cuando el motor alcanza mayores revoluciones produce mas torque utilizando relativamente menos combustible
- El consumo específico de combustible máximo se da a bajas revoluciones, ya que el motor produce muy poca potencia y consume una mezcla rica.
- El consumo específico de combustible mínimo se da en el punto donde también se obtiene el par máximo, ya que es donde se optimiza su uso y se obtiene la mayor eficiencia.
- La eficiencia volumétrica se incrementa en forma casi proporcional porcentaje de abertura del acelerador, debido a que a estas revoluciones, las válvulas del motor tienen suficiente capacidad de llenado, lo que deja como limitante la apertura del acelerador, cuando este esta casi cerrado, la eficiencia volumétrica baja considerablemente ya que el motor trabaja en vacío.

- Es de suma importancia conocer el consumo específico de combustible, ya que nos da información de la velocidad del motor en donde obtenemos mayor torque con un consumo mas bajo.
- La eficiencia térmica es mayor cuando el acelerador permanece casi totalmente abierto, y disminuye drásticamente a medida que este se cierra, es por esta y las anteriores conclusiones que los motores son mas eficientes a una velocidad moderada o alta, no son eficientes a bajas revoluciones y su rendimiento decae si se incrementan excesivamente las revoluciones, además la mayor parte de carburadores enriquecen la mezcla a muy altas revoluciones, las curvas de torque siempre declinan en un punto y por lo tanto es recomendable operar el motor con el acelerador parcialmente abierto, ya que esto ayudara a tener una relación de combustible mas conveniente
- En el motor didáctico se experimento variando la carga y el grado de apertura del acelerador, sin embargo en motores de combustión de vehículos las cargas son muy variables a tal grado que ni con el acelerador totalmente abierto se logre obtener la potencia necesaria para vencerla, por eso los vehículos se equipan con cajas de velocidades que permiten obtener relaciones de engranajes que permiten aumentar el torque del motor o su velocidad así sea necesario. Con una caja de cambios podemos mantener el motor funcionando a las revoluciones más eficientes sin forzarlo y de esta manera obtener una economía y eficiencia óptima.

#### 2.6.7 Par de rotación con distintos tipos de combustibles

Como se vio en 2.4.1.3.3, el octanaje o índice de octano es una escala que mide la resistencia que presenta un combustible (gasolina) a detonar



prematuramente cuando es comprimido dentro del cilindro de un motor. También se denomina RON (*Research Octane Number*).

Algunos combustibles, como el GLP, etanol y metanol, dan un índice de octano mayor de 100. Utilizar un combustible con un octanaje superior al que necesita un motor, no lo perjudica ni lo beneficia. Si se tiene previsto que un motor vaya a usar combustible de octanaje alto puede diseñarse con una relación de compresión más alta y mejorar el rendimiento del motor.

El octanaje indica la presión y temperatura a que puede ser sometido un combustible carburado (mezclado con aire) antes de auto-detonarse al alcanzar su temperatura de autoignición debido a la Ley de los gases ideales. Si el combustible no tiene el índice de octano suficiente en motores con elevadas relaciones de compresión (oscilan entre 8,5 y 10,5:1), se producirá el "autoencendido" de la mezcla, es decir la combustión es demasiado rápida y dará lugar a una detonación prematura en la fase de compresión que hará que el pistón sufra un golpe brusco y se reduzca drásticamente el rendimiento del motor, llegando incluso a provocar graves averías. Este fenómeno también se conoce entre los mecánicos como "Picado de bielas" o cascabeleo.

Dicho índice de octano se obtiene por comparación del poder detonante de la gasolina con el de una mezcla de heptano e isooctano. Al isooctano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0, de esta manera una gasolina de 95 octanos correspondería en su capacidad antidetonante a una mezcla con el 95% de isooctano y el 5% de heptano.

Hay tres clases de octanajes o formas de medirlo:

- Research Octane Number (RON) - Octanaje medido en el laboratorio,
- Motor Octane Number (MON) - Octanaje probado en un motor estático y
- Road ON - Octanaje probado en la carretera.

En Guatemala las gasolinas se venden con 3 tipos de octanaje:

Regular con 87 octanos

Súper con 95 octanos

Shell V-Power con 98 octanos

#### 2.6.7.1 Medición de par de rotación utilizando gasolina de 84 octanos

Para llevar a cabo este experimento siga con detalle este procedimiento;

1. Desconecte la manguera de su conexión al carburador y abra la válvula del tanque de combustible. Utilice un recipiente limpio para recoger el combustible y almacénelo en lugar seguro.
2. Limpie cuidadosamente cualquier derrame de combustible y vuelva a conectar la manguera al carburador una vez deje de caer combustible. Asegúrese que la conexión quede bien sujeta.
3. Agregue gasolina regular de 87 octanos y deje que fluya hasta el carburador.
4. Hale la cuerda de arranque del motor varias veces hasta que arranque. Puede ser que requiera varios intentos ya que el carburador se habrá quedado vacío y se tiene que llenar nuevamente por gravedad.

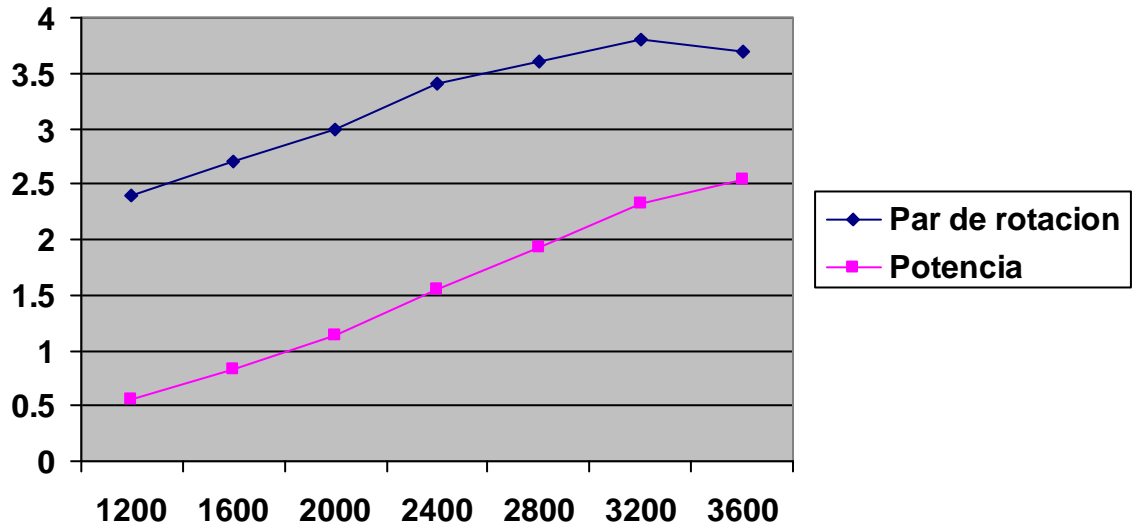
5. Una vez que el motor haya arrancado acélelo momentáneamente algunas veces, esto permitirá que el motor se caliente y salgan de las mangueras y conductos pequeñas burbujas de aire que pueden ocasionar fallas en el funcionamiento durante el experimento.
6. Acelere el motor y abra la manecilla de carga hasta que el motor alcance las 3600 r.p.m, con el acelerador totalmente abierto.
7. Aumente la carga y tome los datos de par de rotación para los intervalos que aparecen en la tabla de datos dando cada vez mas carga al motor para que disminuya sus revoluciones
8. Una vez completada la tabla reduzca la carga al mismo tiempo que cierra el acelerador. Apague el motor.

Tabla XVIII. Resultados de par y potencia con gasolina regular.

RPM	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600
Par de rotacion (lb-pie)	2.4	2.7	3	3.4	3.6	3.8	3.7
Potencia en HP	0.56	0.82	1.14	1.55	1.92	2.32	2.54

**Figura 48. Gráfica de par y potencia utilizando gasolina regular de 87**

**octanos:**



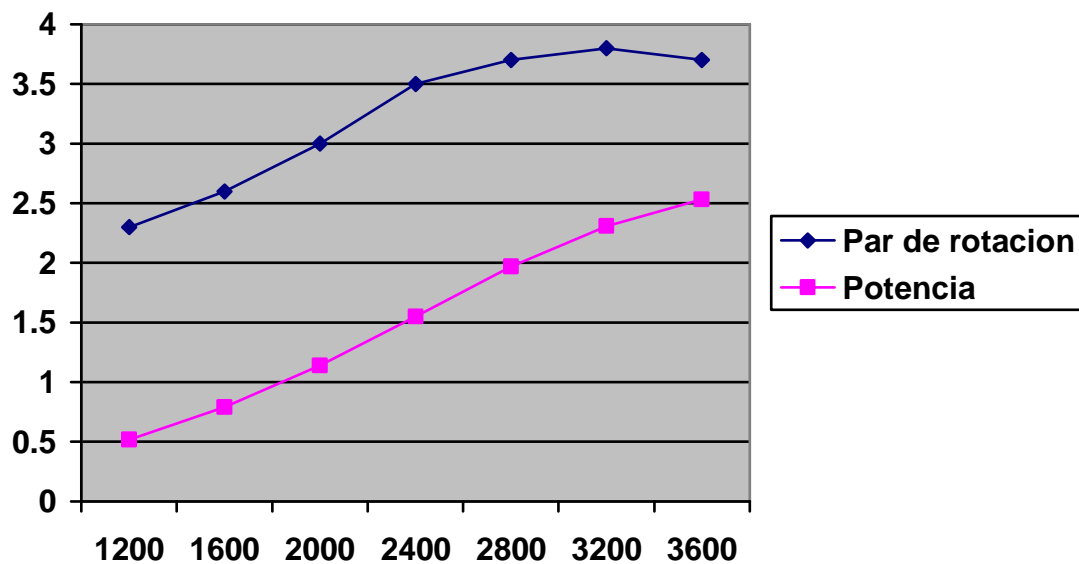
**2.6.7.2 Medición de par de rotación utilizando gasolina de 95 octanos.**

Para completar este experimento siga el mismo procedimiento que se detalla en 2.6.7.1, con la diferencia de utilizar gasolina súper de 95 octanos.

Tabla XIX. Resultados de par y potencia con gasolina Super.

RPM	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600
Par de rotacion (lb-pie)	2.3	2.6	3	3.5	3.7	3.8	3.7
Potencia en HP	0.52	0.79	1.14	1.55	1.97	2.31	2.53

**Figura 49. Gráfica de par y potencia utilizando gasolina súper de 95 octanos.**



Resultados:

- Como nos muestran las gráficas las curvas y los datos fueron muy semejantes en ambas gasolinas.
- Estas diferencias no necesariamente se deben a la gasolina, sino que pueden ser errores en la toma de datos o a la exactitud de los instrumentos utilizados.
- Este experimento comprueba el enunciado citado en 2.6.7 que dice que un combustible con un octanaje superior al que necesita un motor no lo perjudica ni lo beneficia.
- El motor didáctico es un motor pequeño de bajo rendimiento y baja relación de compresión, por lo que agregarle gasolina de alto

octanaje constituye un desperdicio de dinero, y no aumentará la eficiencia del mismo.

- Las gasolinas de alto octanaje deben ser utilizadas en motores de alto rendimiento, con relaciones de compresión más altas y que funcionen a altas temperaturas. Es en ellos donde si existe diferencia en su rendimiento si se utilizan combustibles inadecuados provocando detonación y preignición.
- Se recomienda para el motor BRIGGS & STRATTON de 3 HP utilizado en el laboratorio, utilizar gasolina regular de 87 octanos, ya que el motor funcionara de manera adecuada y debido a su baja relación de compresión no presentara problemas de detonación o preignición a temperaturas normales de funcionamiento.

#### 2.6.8 Par de rotación bajo distintos grados de temperatura

La temperatura es desde luego un factor determinante en el funcionamiento del motor. A muy bajas temperaturas (menos de 10 grados centígrados) la gasolina presenta dificultades para vaporizarse, por lo que el arranque será difícil, se obtendrá un rendimiento pobre en cuanto a potencia y se producirán altos índices de contaminación. Por otro lado el aire frío posee una densidad alta y alimentara bien al motor, dándole una buena cantidad de oxígeno y aumentando la eficiencia volumétrica.

A temperaturas normales de funcionamiento, los motores mejoran notablemente su rendimiento, vaporizando mejor el combustible y mecánicamente los metales se dilatarán ayudando a mejorar la compresión en los cilindros, sin embargo el aire caliente es mas ligero, pierde densidad y ocupara mas espacio en los cilindros, por lo que puede afectar el rendimiento final del motor. Por ello, los motores modernos

están equipados con distintos equipos que permiten a la mezcla vaporizarse aunque exista baja temperatura (inyectores), calentadores que funcionan a base de agua caliente, gases de escape o eléctricos para calentar la mezcla, turbocargadores que aumentan notablemente el llenado del cilindro y enfriadores de aire (*intercooler*) para aumentar la densidad del aire. En este laboratorio realizaremos pruebas con motor frío y a temperatura normal de funcionamiento.

#### 2.6.8.1 Medición de par de rotación con el motor frío

Complete el siguiente procedimiento:

1. Ponga la perilla de control de carga en carga mínima girándola a favor de las agujas del reloj.
2. Arranque el motor y ajuste el acelerador para 2500 r.p.m.
3. Aumente lentamente la apertura del acelerador hasta la posición totalmente abierta (100%) mientras aumenta la carga para mantener la velocidad en 2500 r.p.m.
4. Inmediatamente anote en la tabla de datos para análisis del motor el valor del par de rotación antes de que el motor se caliente.
5. Ajuste el acelerador a los porcentajes de apertura restantes indicados en la hoja mencionada. Ajuste el control de carga para mantener la velocidad del motor en 2500 r.p.m para cada posición del acelerador.

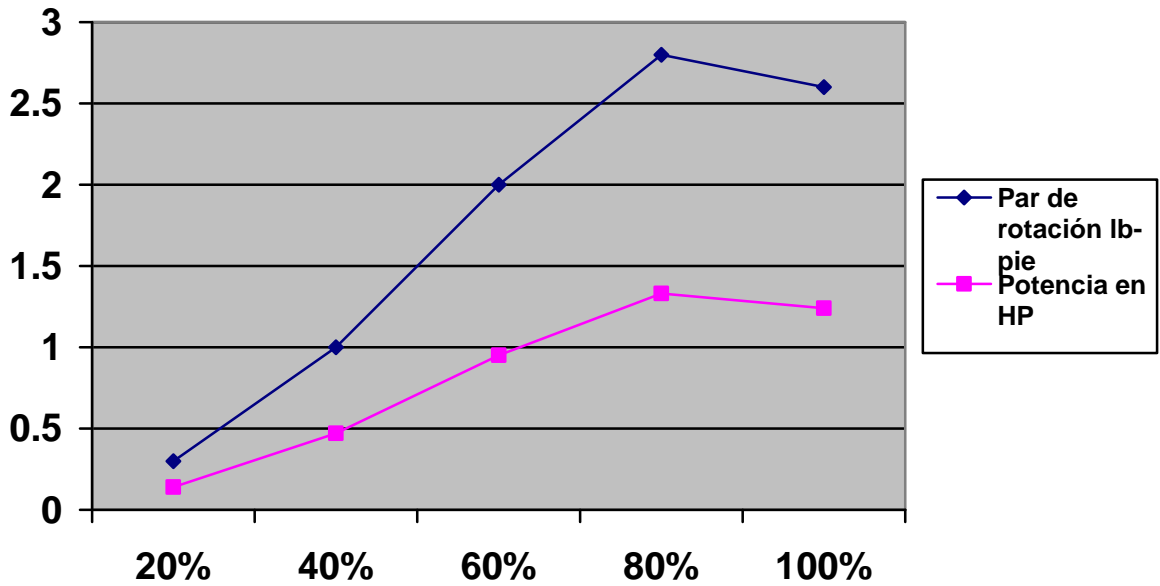
6. Anote el valor del par de rotación y calcule la potencia en HP en las columnas correspondientes para cada cambio en el ajuste del acelerador.
  
7. Quite la carga, reduzca la apertura del acelerador hasta la de marcha mínima y pare el motor.

Tabla XX Resultados de par y potencia con el motor frío.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Par de rotación lb-pie	0.3	1	2	2.8	2.6
Potencia en HP	0.14	0.47	0.95	1.33	1.24



Figura 50. Gráfica de par de rotación y potencia con el motor frío.



#### 2.6.8.2 Medición de par de rotación con el motor a temperatura normal de funcionamiento

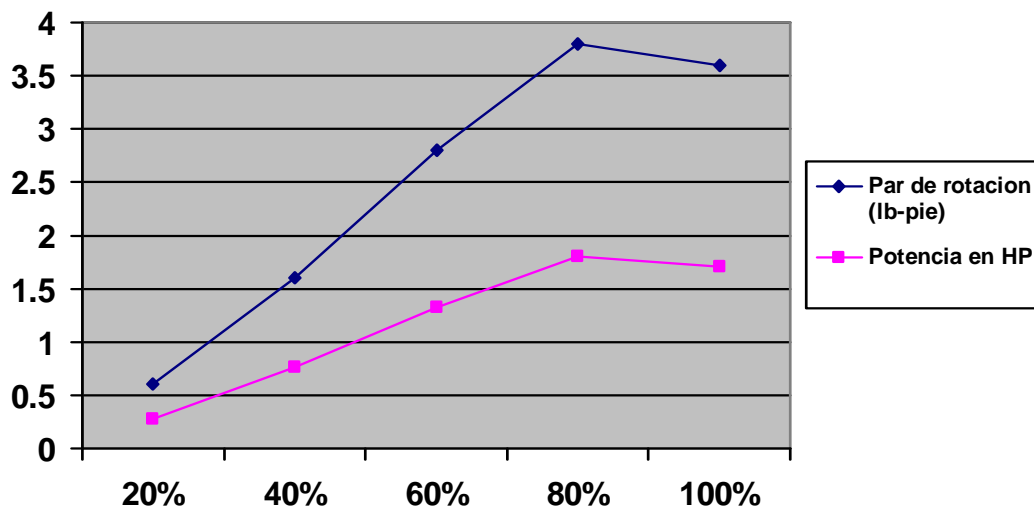
Complete el siguiente procedimiento:

1. Realice el mismo procedimiento detallado en 2.6.8.1, con la diferencia que se debe dejar calentar el motor alrededor de 5 minutos a velocidad baja para que alcance su temperatura normal, posteriormente proceda con el experimento y tome la lectura de los datos anotándolos en la tabla de análisis del motor.

Tabla XXI Resultados de par y potencia con el motor a temperatura normal.

Apertura de acelerador a __RPM	20%	40%	60%	80%	100%
Par de rotacion (lb-pie)	0.6	1.6	2.8	3.8	3.6
Potencia en HP	0.28	0.76	1.33	1.8	1.71

Figura 51. Gráfica de par de rotación y potencia con el motor a temperatura normal de funcionamiento



Conclusiones del experimento:

- El motor didáctico, por ser enfriado por aire, no cuenta con un medidor de temperatura, lo que dificulta saber a que temperatura trabaja exactamente el motor.

- En una forma empírica se hizo el experimento con el motor frío, inmediatamente después de haberlo arrancado, por lo que se estima que la temperatura era bastante baja.
- Para hacer el experimento a temperatura normal se opero el motor durante algún tiempo, permitiendo que se calentara, por lo que se considera que fue hecho a temperatura normal.
- La grafica de motor frío presenta un rendimiento bastante pobre con respecto a la de motor caliente.
- Es evidente el papel que juega la temperatura en un motor con respecto a su rendimiento
- Las bajas temperaturas afectan el rendimiento de un motor porque la gasolina no es vaporizada adecuadamente, y no se quema totalmente, requiriendo un enriquecimiento de la mezcla para compensar esta pérdida de potencia.
- A bajas temperaturas los anillos del pistón no se han dilatado, por lo que permitirán mas fuga de compresión con la consiguiente perdida de potencia.
- Las temperaturas excesivas tampoco son recomendables ya que ocasionan la extrema dilución del aceite así como el agrandamiento exagerado de las piezas internas del motor que pueden provocar daños irreversibles al mismo.

#### 2.6.9. Par de rotación utilizando distintos tipos de bujías

Una de las maneras más económicas de mantener un motor trabajando eficientemente y evitar el desperdicio de combustible, es mediante el cambio de bujías a intervalos regulares. Con el uso las bujías sufren electro-erosión que provoca un desgaste en el electrodo aumentando la distancia de salto de chispa, esto ocasiona que la bujía

requiera de un mayor voltaje para cubrir la distancia y por lo tanto, durante situaciones de aceleración a fondo o altas velocidades pueden perderse explosiones en el motor desperdiciando combustible y perdiendo potencia.

El intervalo de cambio de bujías depende del tipo de bujía, de la cantidad de electrodos y la calidad de la gasolina principalmente. Regularmente las bujías de cobre con un electrodo se cambian cada 10,000 km. Existen bujías de cobre con varios electrodos que pueden durar funcionando correctamente hasta 20,000 km. por electrodo (es decir, hasta 80,000 Km. para bujías de 4 electrodos). El caso de las bujías de platino es diferente, ya que estas pueden durar hasta 160,000 km. dependiendo de la cantidad de electrodos.

#### 2.6.9.1 Medición de par utilizando una bujía correcta

La bujía de encendido recomendada por el fabricante para el motor BRIGGS & STRATTON es la RJ19LM Champion.

Procedimiento:

- 1) Con el motor totalmente frío y apagado desconecte cuidadosamente el cable de corriente que va a la bujía.
- 2) Utilizando una copa de bujías de 5/8" y un ratchet, desmonte la bujía instalada en la culata del motor, girándola en sentido antihorario.
- 3) Limpie cuidadosamente es área de la culata eliminando grasa, suciedad o aceite pero evitando que esta entre por el orificio hacia la cámara de combustión.

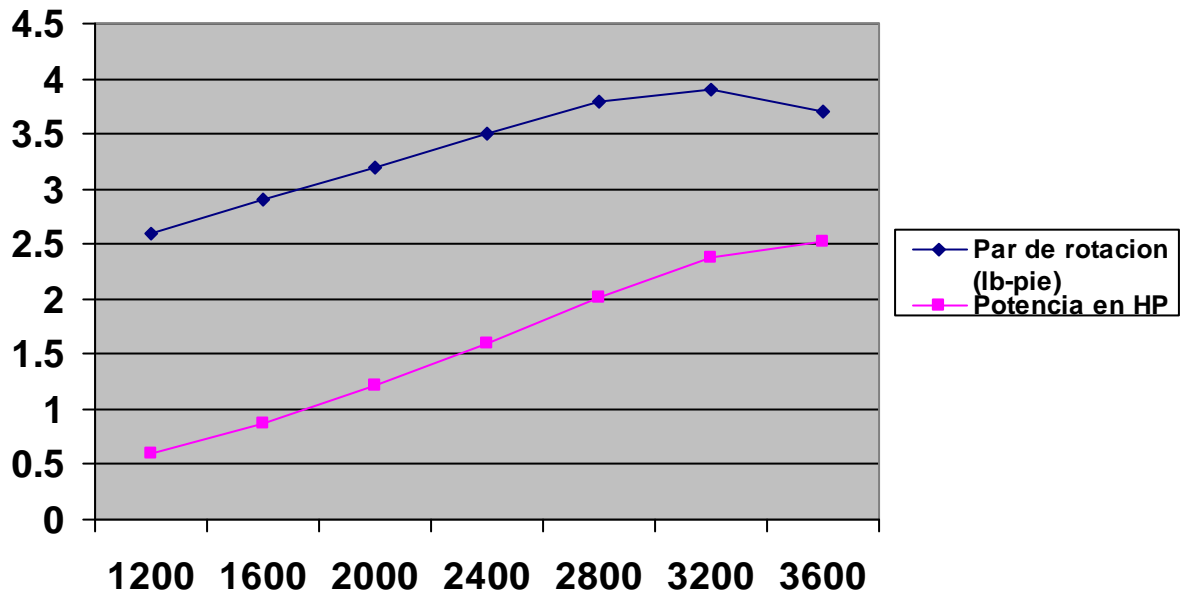
- 4) Coloque una bujía nueva código RJ19LM Marca Champion y apriete  $\frac{3}{4}$  de vuelta después de sentir el primer ajuste.
- 5) Instale nuevamente el cable de corriente en la Terminal de la bujía asegurándose que quede bien sujeto.
- 6) Arranque el motor y déjelo funcionar algún tiempo a bajas revoluciones para que se caliente.
- 7) Acelérela en forma gradual mientras abre la manecilla de carga hasta que alcance las 3600 r.p.m con el acelerador completamente abierto.
- 8) Proceda a tomar lectura de los datos y anótelos en la tabla de análisis del motor. Reduzca las revoluciones aumentando gradualmente la carga sin reducir la apertura del acelerador.
- 9) Complete los datos de la tabla y grafique los resultados.

Tabla XXII Resultados de par y potencia para una bujía correcta.

<b>RPM</b>	<b>1200</b>	<b>1600</b>	<b>2000</b>	<b>2400</b>	<b>2800</b>	<b>3200</b>	<b>3600</b>
<b>Par de rotacion (lb-pie)</b>	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	3.9	3.7
<b>Potencia en HP</b>	0.59	0.88	1.21	1.6	2.02	2.37	2.53

**Figura 52. Gráfica de par de rotación y potencia utilizando bujía rj19**

**Im champion:**



#### 2.6.9.2 Medición de par utilizando una bujía incorrecta

Para llevar a cabo este experimento se ha utilizado una bujía deteriorada, con bastante tiempo de uso y electrodos erosionados, también presenta partículas de carbonilla seca que muestran un indicativo de una mala combustión o mezcla enriquecida, sin embargo la rosca y la dimensión es exactamente igual para evitar daños a la culata.

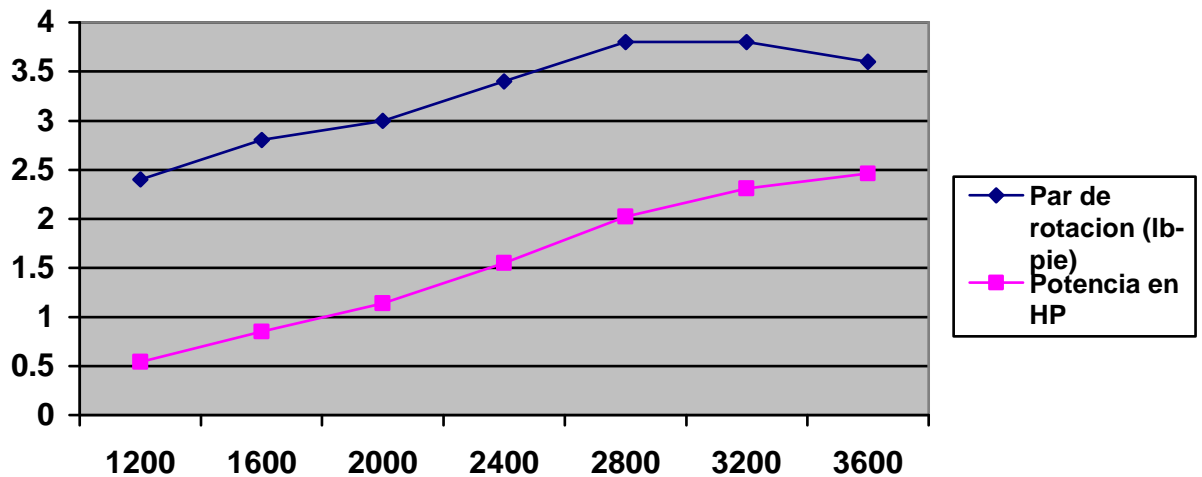
#### PROCEDIMIENTO:

Siga el mismo procedimiento que se detalla en 2.6.9.1 con la excepción de colocar la bujía incorrecta en vez de la bujía nueva.

Tabla XXIII. Resultados de par y potencia para una bujía incorrecta.

RPM	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600
Par de rotacion (lb-pie)	2.4	2.8	3	3.4	3.8	3.8	3.6
Potencia en HP	0.54	0.85	1.14	1.55	2.02	2.31	2.46

Figura 53. Gráfica de par de rotación y potencia utilizando una bujía incorrecta



Conclusiones del experimento:

- Las gráficas muestran que aunque se alcanzaron los mismos niveles de par de rotación en ambas situaciones, ocurrió un funcionamiento mas pobre a bajas revoluciones.
- Una bujía vieja y sucia, si bien trabaja y el motor funciona, provoca que a veces la chispa no salte y con ello el motor perderá potencia aunque esto sea ocasional y por instantes.
- Colocar una bujía de un grado térmico inadecuado puede producir detonación si es muy caliente y puede fallar por exceso de carbonilla o aceite si es muy fría.

## CONCLUSIONES

1. Los motores de combustión interna son máquinas complejas que Pueden operar bajo un amplio rango de velocidad y condiciones termodinámicas como presión, humedad, temperatura, relaciones de mezcla, tipos de combustible, así como viscosidad y temperatura de los mismos, etc.
2. Para dar su máximo rendimiento los motores deben ser estudiados y operados en los rangos donde se obtienen mayores cantidades de torque y potencia con consumos de combustible relativamente bajos.
3. Los motores, en su curva de par motor, tienen un máximo que no ocurre a las más altas revoluciones que puede alcanzar, por lo que al operar el motor a las revoluciones que obtengan ese máximo, se obtendrá el rendimiento optimo.
4. Para encontrar la eficiencia térmica y volumétrica, así como el consumo específico de combustible y la presión media efectiva al freno, es necesario contar con las tablas de par de rotación, potencia, consumo de aire y consumo de combustible.
5. Un motor puede brindar un rendimiento alto sin necesidad de cambiar sus componentes originales, únicamente afinándolo y operándolo en su rango óptimo.
6. Los experimentos efectuados en laboratorio fueron hechos en un motor estacionario, por lo que las observaciones obtenidas se recomiendan para uso en motores del mismo tipo.



7. Los motores utilizados en vehículos que presentan variedad de cargas y condiciones de manejo deberán ser analizados en forma dinámica.
8. El par máximo obtenido se alcanza en este motor a un promedio de 2800 r.p.m.
9. La potencia continua aumentando mientras el par de rotación disminuye en los motores porque depende matemáticamente de la velocidad del motor.
10. El par de rotación disminuye, debido a que la cámara de combustión ya no es llenada completamente a altas revoluciones.
11. El rango operativo óptimo de el motor BRIGGS & STRATTON de 3 HP oscila entre las 2600 y 3000 r.p.m.
12. Una prueba a velocidad constante es de suma importancia porque permitirá encontrar la posición óptima de abertura del acelerador para obtener un mejor rendimiento del motor con bajo consumo de combustible.
13. Para que el motor desarrolle el par máximo, el acelerador debe situarse alrededor del 80% de abertura.
14. La eficiencia volumétrica es de suma importancia en el estudio del rendimiento de los motores, ya que permite encontrar el número de revoluciones en las que los cilindros comienzan a tener llenado deficiente.

## RECOMENDACIONES

Al catedrático del laboratorio de motores:

1. Utilizar de alguna manera el presente manual, en el desarrollo del laboratorio, ya que facilitará a los estudiantes la información básica y conocimientos relacionados con el funcionamiento de los motores.
2. Programar alguna o algunas prácticas detalladas en este manual en el contenido programático del laboratorio, ya que serán de gran utilidad y beneficio a los estudiantes del mismo.
3. Priorizar el estudio de prácticas de laboratorio orientadas a obtener la máxima eficiencia en los motores así como el menor grado de contaminación de los mismos, especialmente las dedicadas a la reducción del consumo, ya que de esta manera se ayudará a combatir la crisis general provocada por el aumento en el precio de los combustibles.

Al Coordinador de los laboratorios:

4. Velar porque el laboratorio cuente con las instalaciones y el equipo adecuado, para que los estudiantes puedan realizar sus prácticas en condiciones favorables.
5. Incentivar la creación de laboratorios dinámicos con prácticas actualizadas, para que el estudiante asimile conocimientos tecnológicos de acuerdo a las necesidades de la industria actual.

6. Priorizar el estudio de prácticas referentes a la utilización de biocombustibles y fuentes alternativas de energía para que en el futuro cercano el país cuente con un conocimiento previo a la incursión de estos combustibles ya utilizados por otros países desarrollados.

Al Director de Escuela:

7. Impulsar en la Escuela de Ingeniería Mecánica el estudio completo de los motores de combustión interna, ya que en tiempos en que los precios de los combustibles han subido en forma drástica y el petróleo es hasta hoy la fuente de energía más común, el país sigue dependiendo de los mismos para mover las principales industrias.
8. Impulsar en la Escuela de Ingeniería Mecánica la investigación, para que permita el uso de energía alterna en beneficio para el país y se adapten más a las necesidades de nuestra industria, porque debido a nuestra dependencia del petróleo nuestra economía es completamente vulnerable a los precios del mismo.
9. Se evidencia la necesidad de un auxiliar que ayude y oriente a los estudiantes a realizar las respectivas prácticas. Ya que debido a lo complejo del estudio de los motores es necesario la atención en la mayor parte del desarrollo de las prácticas con cada uno de los grupos que se presenten al laboratorio.

Al Decano de la Facultad de Ingeniería:

10. Promover la inclusión en el pensum de Ingeniería Mecánica agregue un curso de mecánica automotriz básica, en donde se estudien las

partes y funcionamiento de los motores de combustión interna, para que el laboratorio sea utilizado por los estudiantes de cierre, para experimentos de rendimiento y comportamiento de los mismos únicamente.

11. Darle prioridad al estudio del rendimiento y los factores determinantes en el funcionamiento de un motor de combustión interna para que todos los estudiantes de Ingeniería Mecánica y Mecánica Industrial egresados, presenten soluciones concretas en lo referente a la optimización del uso de los motores y sus combustibles.

12. Implementar en la Escuela de Ingeniería Mecánica un mejor laboratorio de motores, equipado con instrumentos de medición modernos, para que permitan al estudiante un estudio real y completo.

13. Ampliar las actuales instalaciones del laboratorio de motores, así como el equipo y herramienta del mismo, para que los estudiantes puedan llevar a cabo sus prácticas con facilidad y eficiencia.

A los estudiantes de Ingeniería Mecánica:

14. La eficiencia y el buen rendimiento de los motores debe ser atendido con suma responsabilidad por quienes estén a cargo del mantenimiento de los mismos, para evitar inconvenientes y optimizar los recursos.

15. Operar los motores en forma técnica adecuada para evitar contaminación y optimizar el uso de los combustibles fósiles, así como coordinar las acciones necesarias en sus respectivos lugares de

trabajo, para que los operarios se identifiquen con el funcionamiento de los motores que estén a su cargo y permitan que estos funcionen mejor.

16. Fomentar el estudio de los motores y comprometerse a todo nivel con la reducción de los niveles de contaminación emanados por los motores, para que el entorno en el que convivimos mejore y se traduzca en una mejora de nuestra calidad de vida y la de las próximas generaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de usuario motores de combustión interna diesel  
Editorial Limusa Noriega  
Dr. Raymond g Wasdyke y Gerakd D. Zinder
2. Mecánica del automóvil I y II  
Editorial Marcombo  
William H Crouse
3. [www.mailxmail.com](http://www.mailxmail.com) (18/02/2006)
4. [www.todoautos.com.pe](http://www.todoautos.com.pe) (23/05/2006)
5. [www.automotriz.net](http://www.automotriz.net) (22/09/2006)
6. [www.forocoches.com](http://www.forocoches.com) (3/05/2006)
7. [www.automecanico.com](http://www.automecanico.com) (10/07/2006)
8. [www.lubrimax.com.mx](http://www.lubrimax.com.mx) (27/06/2006)
9. [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org) (21/08/2006)