

IM-2004-II-06

RELACIÓN DE LA PROPORCIÓN COMBUSTIBLE-AIRE Y RENDIMIENTO DE
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

DANIEL ALFONSO BACCA PARRA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA D.C.
2004

IM-2004-II-06

RELACIÓN DE LA PROPORCIÓN COMBUSTIBLE-AIRE Y RENDIMIENTO DE
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Trabajo de grado presentado como
Requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

DANIEL ALFONSO BACCA PARRA

Asesor:

Rafael Guillermo Beltrán Pulido

Ing. Mecánico

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA D.C.

2004

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
1. Objetivos del proyecto de grado	3
2. Aspectos generales motores de combustión interna	4
2.1 Motor 4 tiempos gasolina	5
2.2 Componentes principales motor 4 tiempos gasolina	6
2.3 Clasificación de motores	9
2.4 Ciclo termodinámico Otto	12
3. Características del motor	18
3.1 Especificaciones generales	18
3.2 Calculo de potencia del motor	21
4. Banco de Prueba	24
4.1 Banco de pruebas utilizado.	24
4.2 Metodología para la toma de datos	27
5. Pruebas del motor	29
5.1 Pruebas a velocidad constante	29
5.2 Pruebas de velocidad variable a plena potencia.	40
6. Conclusiones	47
BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Ciclo de cuatro tiempos. [1]	6
FIGURA 2. Corte de un motor a gasolina cuatro tiempos. [2].	7
FIGURA 3. Disposición en línea [3].	9
FIGURA 4. Disposición en v. [3].	10
FIGURA 5. Disposición bóxer [3].	10
FIGURA 6. Disposición radial [4].	11
FIGURA 7. Distribución OHV y OHC [5].	12
FIGURA 8. Ciclo Otto teórico [6].	13
FIGURA 9. Motor Tecumseh H30 [7].	18
FIGURA 10. Rendimiento motor Tecumseh H30 [8].	19
FIGURA 10. Vista lateral motor Tecumseh H30 [8].	19
FIGURA 11. Vista frontal y superior motor Tecumseh H30 [8].	20
FIGURA 12. Esquema de carburador horizontal con un solo surtidor [9].	21
FIGURA 13. Funcionamiento del carburador elemental [9].	21
FIGURA 14. Montaje en el laboratorio.	25
FIGURA 15. Montaje en el laboratorio.	25
FIGURA 16. Potencia teórica y real en la prueba 2 a velocidad constante.	35
FIGURA 17. Potencia teórica y real en la prueba 3 a velocidad constante.	36
FIGURA 18. Temperatura de operación para cada prueba a velocidad constante.	38
FIGURA 19. Relación A/F para cada prueba a velocidad constante.	38
FIGURA 20. Consumo específico de combustible para cada prueba a velocidad constante.	39

	Pág.
FIGURA 21. Temperatura del motor para cada prueba a plena potencia.	43
FIGURA 22. Relación A/F para cada prueba a plena potencia.	44
FIGURA 23. Consumo específico de combustible para cada prueba a plena potencia.	45
FIGURA 24. Potencia contra velocidad angular para cada prueba a plena potencia.	46

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Prueba 1 a velocidad constante.	29
TABLA 2. Prueba 2 a velocidad constante.	30
TABLA 3. Prueba 3 a velocidad constante.	31
TABLA 4. Prueba 4 a velocidad constante.	31
TABLA 5. Prueba 5 a velocidad constante.	32
TABLA 6. Promedios de pruebas a velocidad constante.	37
TABLA 7. Prueba 1 a plena potencia.	41
TABLA 8. Prueba 2 a plena potencia.	41
TABLA 9. Prueba 3 a plena potencia.	41
TABLA 10. Prueba 4 a plena potencia.	42
TABLA 11. Prueba 5 a plena potencia.	42
TABLA 12. Promedios de pruebas a plena potencia.	43
TABLA 13. Potencia máxima en pruebas de velocidad constante.	47
TABLA 14. Potencia máxima en pruebas de plena potencia.	48

INTRODUCCIÓN

Desde 1876 cuando se le otorga a Nikolaus August Otto la patente del motor de combustión interna con ciclo de cuatro tiempos, este ha estado a nuestro servicio, siendo utilizado en diversas aplicaciones, convirtiendo el combustible en fuerza motriz.

El motor de vapor de gran tamaño y peso ha sido reemplazado por el motor de combustión interna, que es ligero y de fácil operación, las maquinas de vapor son motores de combustión externa el calor de la combustión es transferido al fluido motriz, mientras en el motor de combustión interna al aire y combustible son el fluido motriz esto mejora su rendimiento térmico.

Los motores de combustión interna han tenido gran influencia en el progreso de la humanidad, se han desempeñado en gran parte en el campo del transporte siendo utilizados en aviones, barcos, automóviles, trineos, trenes, y motos. También son utilizados en maquinaria de construcción, generadores eléctricos, gran variedad de herramientas, y una innumerable cantidad de aplicaciones. Por esta razón el motor de combustión interna es un campo de vital estudio, ya que a sido acogido por nosotros como la fuente de energía predilecta.

En esta investigación se estudia un motor en particular, evaluando las variables mas importantes medidas en un banco de prueba, el motor a estudiar es de gasolina y opera en un ciclo de cuatro tiempos, con carburador. Existen muchos motores de este tipo pero el funcionamiento básico es el mismo luego las conclusiones sobre este pueden ser aplicadas a una gran gama de motores.

En la actualidad las inyecciones electrónicas regulan la mezcla de manera óptima en el sector automotriz, pero aun se emplean muchos motores que funcionan con carburador utilizados para generadores eléctricos, motobombas, guadañas, sierras, y otros. Por esta razón es posible que el ajuste de mezcla no sea óptimo, y por lo tanto se consume más combustible del necesario, perdiendo potencia y así contaminando el medio ambiente. Por lo tanto es importante el estudio en este campo.

1. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO

Determinar la razón de aire-combustible que genera la máxima potencia.

Determinar la razón de aire-combustible que genera el mínimo consumo específico de combustible y cuanta potencia se sacrifica.

2. ASPECTOS GENERALES MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Existen diferentes tipos de motores de combustión interna, que obtienen su potencia mediante el combustible que arde dentro de la cámara de combustión, estos son el motor de Otto, el motor Diesel, el motor rotatorio y la turbina.

El motor de Otto es utilizado usualmente en vehículos de poco peso, esto incluye los automóviles, motos, aviones, y botes. Mientras el motor Diesel tiene otro rango de utilización como buses, camiones, barcos, maquinaria pesada y generadores eléctricos entre otros.

Los motores de Otto y Diesel pueden trabajar bajo ciclos de dos y cuatro tiempos, los dos usan el mismo principio del embolo recíproco que se desplaza dentro de un cilindro desde un extremo hasta el otro, la fuerza sobre este embolo se transmite a través de la biela hasta el cigüeñal y de este se obtiene la potencia generada por la detonación del combustible.

El motor rotatorio o wankel fue desarrollado en la década de 1950, utiliza un rotor triangular que gira sobre una cámara con una geometría particular, este rotor al girar cumple con el ciclo de cuatro tiempos, es un motor de pocas partes mucho mas sencillo y ligero, tiene poca vibración ya que no tiene partes recíprocas. Este motor es usado en automóviles deportivos de alto desempeño.

Las turbinas son motores utilizados básicamente en aviación, ya que tienen un bajo peso y una alta potencia, tienen pocas partes que pueden fallar, y no son afectados considerablemente por los cambios de presión externa. El funcionamiento consiste en aire adquirido del exterior que entra en un compresor,

después este ya comprimido entra en la cámara de combustión donde al mezclarse con combustible arde a altas temperaturas, luego pasa a la turbina que extrae la energía suficiente para mover el compresor y aun queda energía restante, que es la potencia que genera la turbina.

2.1 Motor 4 tiempos gasolina

Los motores de cuatro tiempos se denominan así ya que para completar un ciclo de trabajo necesitan de cuatro carreras de pistón, una carrera de pistón se define como el recorrido del pistón desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI). El motor de gasolina necesita ser encendido por chispa, generada por la bujía, y esto hace que su ciclo sea muy diferente al diesel que es encendido por compresión.

Las carreras del pistón en un motor de cuatro tiempos son las siguientes:

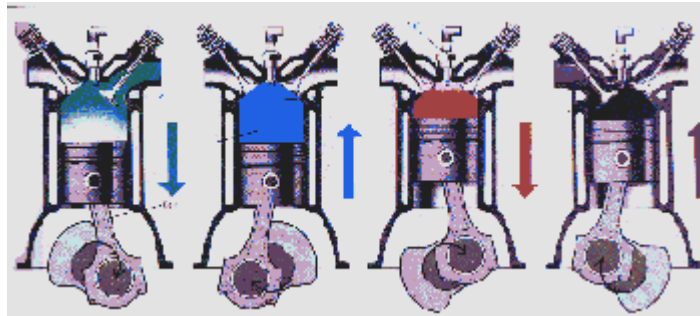
Carrera de admisión: Es cuando la válvula de admisión se encuentra abierta y permite el paso de mezcla de combustible-aire al interior del cilindro. En esta carrera el pistón se encuentra desplazándose desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior.

Carrera de compresión: Las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas, y el pistón se desplaza desde el punto muerto inferior hacia el punto muerto superior comprimiendo así la mezcla aire-combustible.

Carrera de potencia: Las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas, y cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior se produce la chispa haciendo encender la mezcla de aire-combustible y obligando al pistón a

desplazarse hacia el punto muerto inferior liberando la energía de la combustión hacia el cigüeñal.

Carrera de escape: La válvula de escape se abre dejando así que el pistón libere los desechos de la combustión mientras vuelve al punto muerto superior.



ADMISIÓN COMPRESIÓN EXPLOSIÓN ESCAPE

FIGURA 1. Ciclo de cuatro tiempos. [1]

La apertura de válvulas no definen exactamente una carrera de pistón, ya que en la carrera de escape y admisión encontramos un cruce valvular, que mantiene abiertas las válvulas de escape y admisión a la vez. También la chispa no ocurre exactamente en el inicio de la carrera de potencia. Estos intervalos de válvulas y momento de la chispa varían el desempeño del motor ajustándolo para el rango optimo de trabajo.

2.2 Componentes principales motor 4 tiempos gasolina

La gran mayoría de motores de cuatro tiempos tienen los mismos componentes, lo que varia es la geometría del motor, el numero de cilindros, la posición de los cilindros, la disposición de las válvulas, entre otros. En la figura 2 se pueden ver

los componentes principales de un motor de gasolina de cuatro tiempos y cuatro cilindros en línea.

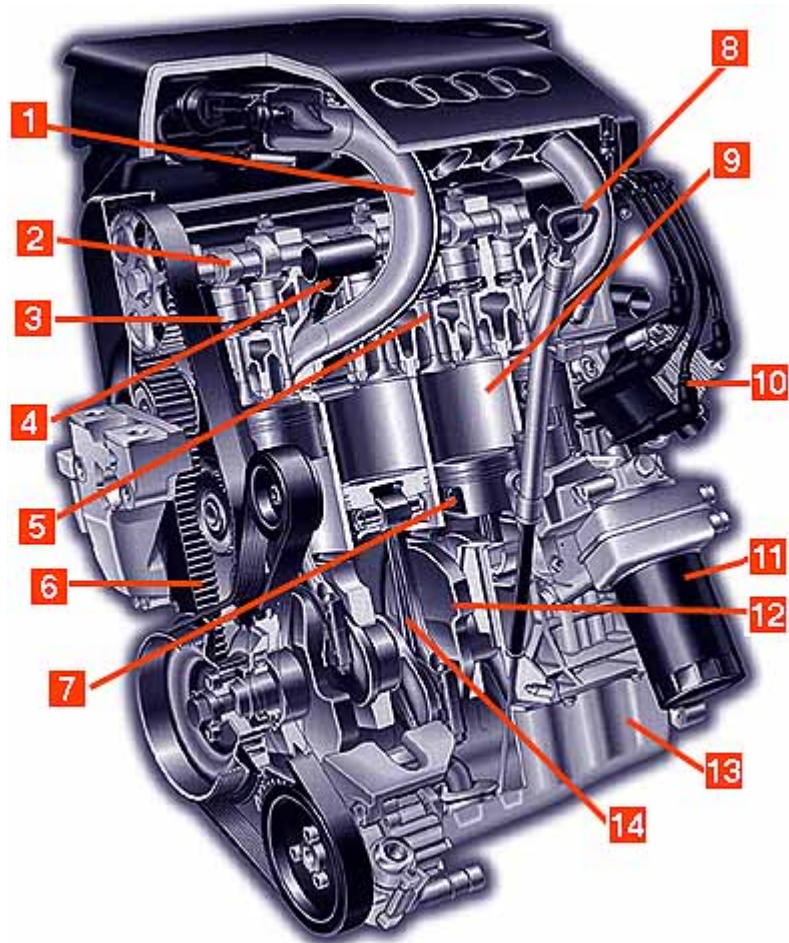


FIGURA 2. Corte de un motor a gasolina cuatro tiempos. [2].

1. Múltiple de admisión: Es el ducto por el cual entra el aire al bloque del motor procedente del filtro de aire.
2. Eje de levas: Es el mecanismo que opera las válvulas del motor, las cierra y las abre en el momento indicado.
3. Impulsadores: Se encuentran entre las válvulas y el eje de levas interconectándolos para que las válvulas sigan este movimiento.

4. Inyector: Es el dispositivo electrónico que proporciona el combustible necesario al aire, para la combustión ubicado en el múltiple de admisión.
5. Válvulas: Son mecanismos que comunican el cilindro con el exterior, las válvulas de admisión permiten el paso de la mezcla aire-combustible hacia el cilindro en la carrera de admisión, las válvulas de escape permiten el paso de los desechos de la combustión desde el cilindro hacia el exterior. En un motor de cuatro tiempos se puede tener como mínimo 2 válvulas por cilindro, pero es posible que se trabaje con 4 o cinco válvulas para lograr una mayor eficiencia.
6. Correa de repartición: La función básica es coordinar el movimiento del eje de levas con el cigüeñal para que las válvulas operen correctamente, también reparte potencia del motor a otros dispositivos.
7. Pistón: Es el embolo reciprocante con el cual se varia el volumen interno del cilindro permitiendo así cumplir con las cuatro carreras del motor.
8. Medidor del nivel de aceite: Permite al usuario revisar el nivel de aceite del motor para mantener la cantidad de aceite en un rango optimo.
9. Cilindro: El pistón sella contra el cilindro por medio de los anillos, manteniendo la compresión y lubricación.
10. Inyección: dispositivo electrónico que controla la apertura de los inyectores, funciona por medio de sensores y sistemas de control.
11. Filtro de aceite: Retira la suciedad del aceite para que no afecte la operación del motor.
12. Cigüeñal: Es el eje donde todos los pistones son interconectados por medio de la biela.
13. Carter de aceite: Es el lugar donde se almacena el aceite para la lubricación del motor.
14. Biela: Es la encargada de conectar el pistón y cambiar su desplazamiento lineal en rotacional para el cigüeñal.

2.3 Clasificación de motores

Número de cilindros: El número de cilindros puede variar entre 1 y más de 16 pero comercialmente se usan entre 1 y 8, dependiendo de la función para la cual es diseñado el motor se define el número de cilindros, los motores monocilíndricos son de baja cilindrada, mientras los de 12 o 16 cilindros son de gran cilindrada.

Disposición de los cilindros: Es la distribución de los cilindros sobre el bloque del motor.

En línea: Es la estructura más común ya que es de fácil construcción por lo tanto reduce el costo de fabricación del motor, esto los hace muy populares. Con cilindros en línea se pueden tener 2, 3, 4, 5, 6 y más cilindros.

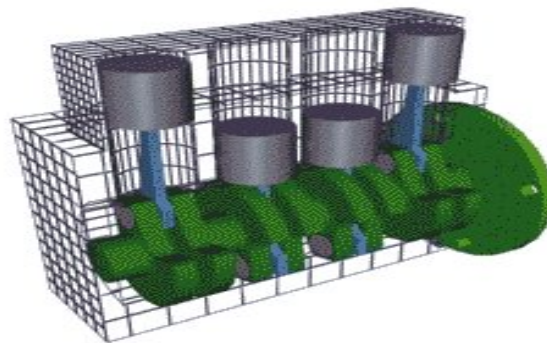


FIGURA 3. Disposición en línea [3].

En V: Los motores en V son más costosos de producir, ofrecen un mejor par, se encuentran de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 cilindros, los de V2, V4, V6 son usados en motos, los V6 y V8 en automóviles y camiones, V10, V12, V16 en automóviles deportivos.

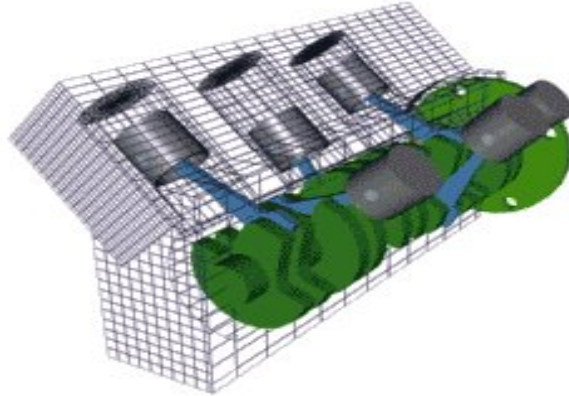


FIGURA 4. Disposición en v. [3].

Cilindros opuestos "Bóxer": Son utilizados en motores porsche con 6 cilindros, y motos bmw con 2 cilindros, también 4 cilindros en subaru, ofrecen un gran balance dinámico, bajo centro de gravedad.

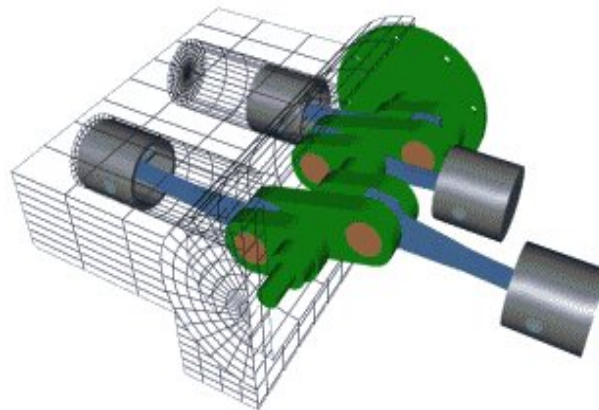


FIGURA 5. Disposición bóxer [3].

Disposición radial: Se utilizaron en el campo de la aviación, entre 5 y 24 cilindros, que son compactos, de fácil montaje, y pocas vibraciones.

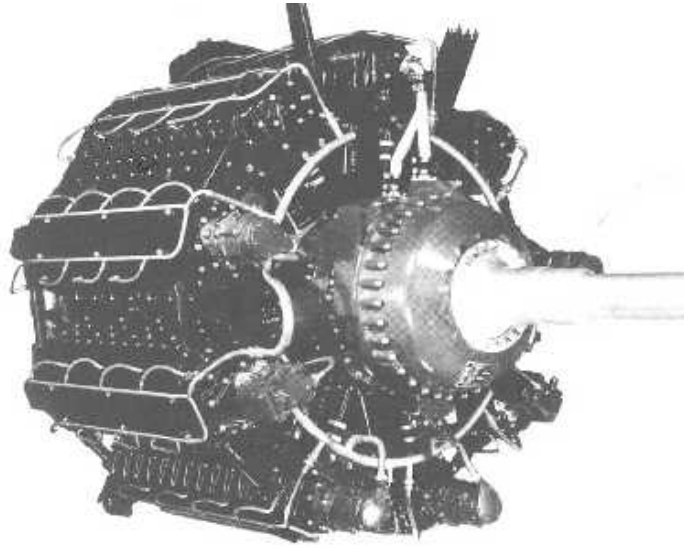


FIGURA 6. Disposición radial [3].

Distribución: Son los elementos del motor encargados de operar las válvulas y conectarlas al cigüeñal. Existen tres tipos de distribuciones, SV, OHV, OHC.

SV: este sistema utiliza las válvulas ubicadas sobre el bloque, lo cual hace que la cámara de combustión sea alargada, y el tamaño de válvulas sea reducido.

OHV: (Over Head Valve): En este sistema se tienen las válvulas sobre la culata mientras el eje de levas se encuentra en el bloque, lo cual hace fácil la coordinación del cigüeñal con el eje de levas.

OHC (Over Head Cam): Este sistema es usado actualmente, utiliza el tanto el eje de levas como las válvulas en la culata, es muy preciso ya que entre la válvula y el eje de levas hay poca distancia.

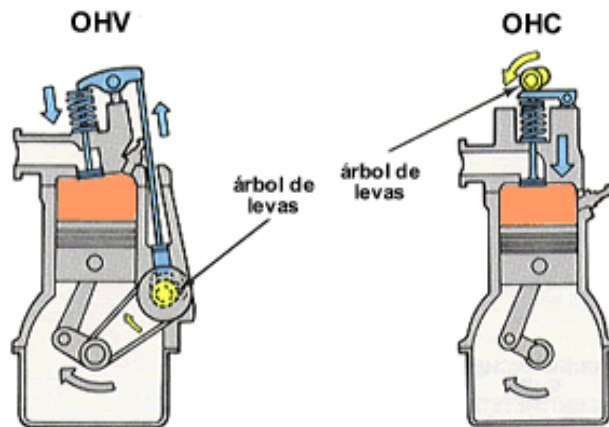


FIGURA 7. Distribución OHV y OHC [4].

OHC (Over Head Cam): Este sistema es usado actualmente, utiliza el tanto el eje de levas como las válvulas en la culata, es muy preciso ya que entre la válvula y el eje de levas hay poca distancia.

2.4 Ciclo termodinámico Otto

Para el ciclo ideal de Otto se asume que el fluido de trabajo es aire, y cumple la ley de los gases ideales.

$$PV = mRT$$

También se asume que los calores específicos son constantes, haciendo que la entalpía y energía interna varíen proporcionalmente con la temperatura.

$$\Delta h = Cp\Delta T$$

$$\Delta u = Cv\Delta T$$

Los procesos del ciclo de Otto se pueden observar en la siguiente grafica.

Estado 1 al 2: Es la compresión adiabática del aire, proceso reversible (entropía constante).

$$PV^k = Const$$

$$k = C_p / C_v \quad \text{Razón de calores específicos}$$

Estado 2 al 3: Ocurre instantáneamente, con la ignición de la chispa, el aire llega a su presión máxima.

Estado 3 a 4: Es la expansión adiabática reversible, que ocurre hasta el volumen máximo del cilindro.

Estado 4 a 1: Expulsión del aire del proceso a volumen constante.

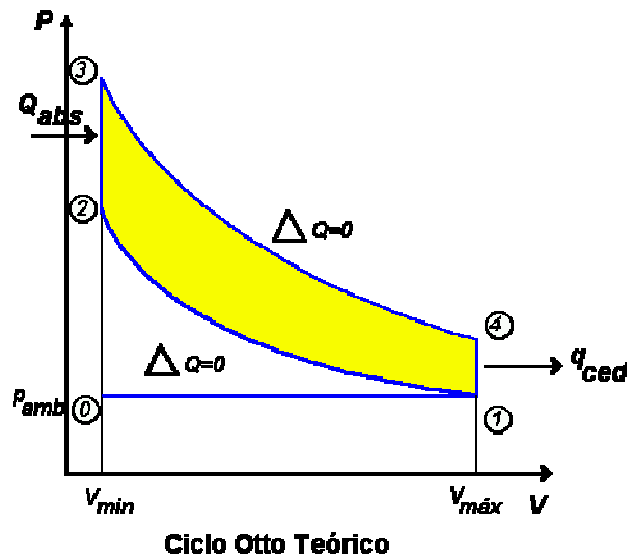


FIGURA 8. Ciclo Otto teórico [5].

La diferencia de volúmenes $V_{max} - V_{min} = D_p$, es el desplazamiento del pistón. Y la relación $V_{max} / V_{min} = r_c$, es la razón de compresión.

IM-2004-II-06

-El rendimiento térmico del ciclo es la razón de trabajo realizado sobre el calor que entra al ciclo.

$$\eta_T = 1 - Q_{sale} / Q_{entra}$$

$$Q_{sale} = mCv(T_4 - T_1)$$

$$Q_{entra} = mCv(T_3 - T_2)$$

entonces

$$\eta_T = 1 - \frac{T_1 (T_4 / T_1 - 1)}{T_2 (T_3 / T_2 - 1)}$$

Para el proceso 1-2

$$T_2 / T_1 = (V_1 / V_2)^{k-1}$$

Para el proceso 3-4

$$T_3 / T_4 = (V_4 / V_3)^{k-1}$$

con esto

$$T_3 / T_4 = T_2 / T_1$$

$$T_4 / T_1 = T_3 / T_2$$

Reemplazando en la primera ecuación para la eficiencia térmica la expresión se reduce a:

$$\eta_T = 1 - T_1/T_2 = 1 - (V_1/V_2)^{1-k} = 1 - r_c^{1-k}$$

La eficiencia del ciclo es función de la razón de compresión y los calores específicos.

El calor específico recibido por el ciclo sería:

$$q_h = Cv(T_3 - T_2)$$

Y el trabajo,

$$w = q_h \eta_T = Cv(T_3 - T_2) \eta_T$$

El desplazamiento o cilindrada de un motor esta dado por:

$$D = 1/4 \pi d^2 L N c$$

donde d es el diámetro del cilindro, L es la carrera del pistón y Nc es el numero del cilindros del motor.

En el motor de cuatro tiempos, cada cilindro aspira aire cada dos revoluciones del motor esto genera el siguiente flujo volumétrico teórico.

$$\dot{V} = D.N/120$$

Donde N son las revoluciones por minuto a las cuales gira el motor.

Para el flujo másico se tiene,

$$\dot{m} = Nc \frac{\pi d^2}{4} L \frac{N}{120} \frac{P_{atm}}{RT_{atm}}$$

Entonces la potencia sería el trabajo por unidad de masa por el flujo másico.

$$P = \dot{m} w$$

La presión media efectiva (pme), la presión constante que si actuara sobre el pistón produciría el mismo trabajo que el motor. La presión media efectiva indicada (pmei), proviene del diagrama P vs V. Pmei = (Área interna del diagrama)/L.

$$P_{mei} = W / D_p = \frac{1}{2} (P_{atm} / RT_{atm}) q_h \eta_T$$

La presión media efectiva al freno (pmef), se obtiene de la potencia del motor medida en su eje de salida.

$$P_{mef} = \frac{P_f}{(\dot{V} N / 120)}$$

P_f es la potencia al freno, P_i es la potencia indicada.

IM-2004-II-06

$$P_i = \frac{P_{mei} \dot{V} N}{120}$$

$$P_f = \frac{P_{mef} \dot{V} N}{120}$$

$$P_i = P_f + P_{friccion}$$

3. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

3.1 Especificaciones generales

El motor utilizado para las pruebas es un tecumseh h30 de 3 hp, cuatro tiempos a gasolina.

Tecumseh h30



FIGURA 9. Motor Tecumseh H30 [6].

Model: H30

Potencia: 3.0 HP

Diámetro del cilindro: 63.5 mm

Carrera del pistón: 46.83 mm

Desplazamiento: 148.31 cm³

Peso aproximado: 11.34 Kg

Razón de compresión: 8,5:1

Las válvulas de este motor se encuentran en el bloque del motor, sistema SV, con culata en L, carburador con flotador y choke. El gobernador mecánico mantiene las revoluciones del motor constantes al variar la carga. Ignición electrónica CDI.

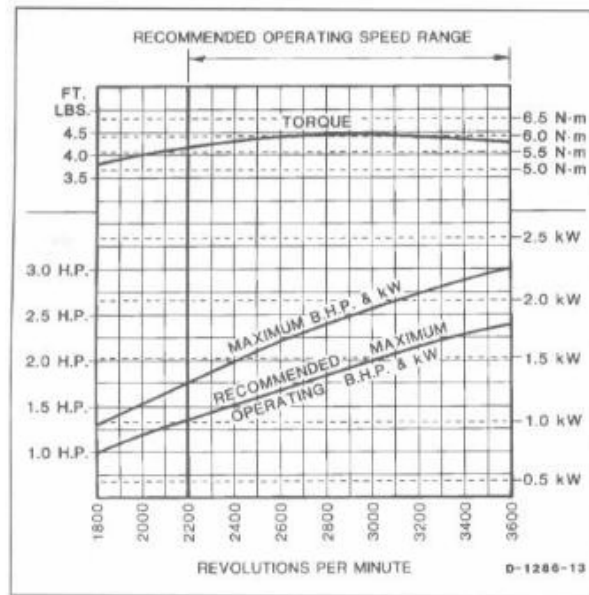


FIGURA 10. Rendimiento motor Tecumseh H30 [6].

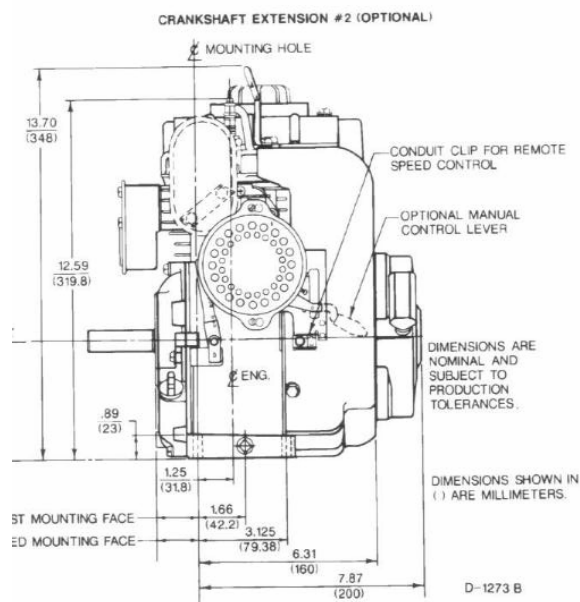


FIGURA 10. Vista lateral motor Tecumseh H30 [6].

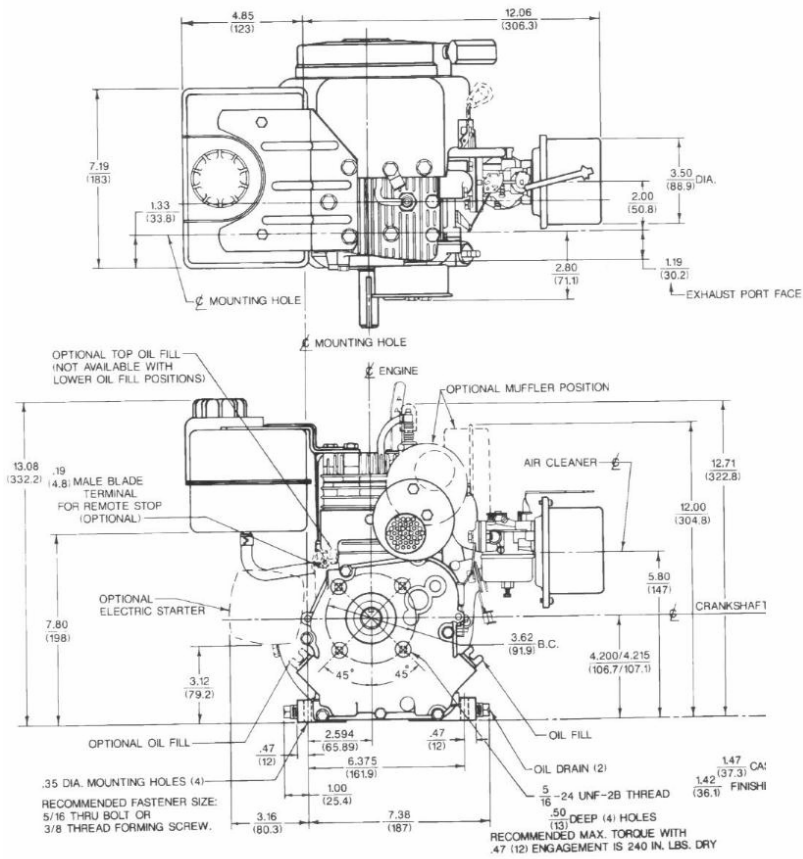


FIGURA 11. Vista frontal y superior motor Tecumseh H30 [6].

Tipo de carburador y funcionamiento:

El carburador utilizado por este motor es de tipo horizontal y funciona con un solo surtidor de combustible.

Cuando se tiene un solo surtidor de combustible el carburador es de tipo elemental, y la cantidad de gasolina aspirada es igual a la teórica para un rango de revoluciones, por encima de este rango la mezcla se enriquece y por debajo la mezcla se empobrece.

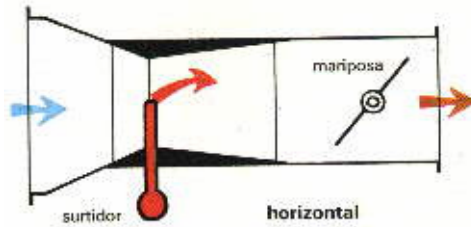


FIGURA 12. Esquema de carburador horizontal con un solo surtidor [7].

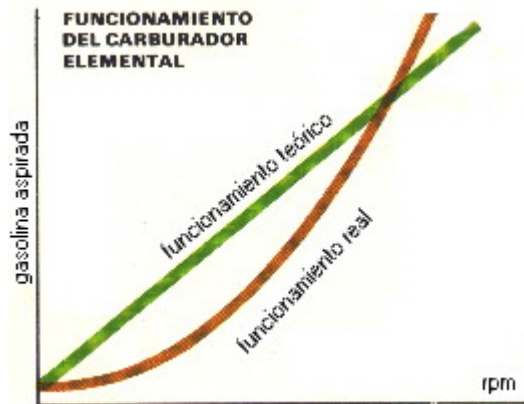


FIGURA 13. Funcionamiento del carburador elemental [7].

Este tipo de carburador no llega a satisfacer las necesidades óptimas de mezcla para el motor, puesto que no mantiene una relación de aire-combustible constante, varía considerablemente con la temperatura y presión atmosférica. Este tipo de carburadores no permiten una aceleración rápida por que al acelerar el motor se queda pobre de mezcla por un instante ya existe un comportamiento inercial.

3.2 Calculo de potencia del motor

Para el calculo teórico de potencia de motor es necesario calcular la eficiencia del ciclo. Con la una razón de compresión de 8,5:1 y $k=1,1$ se tiene:

IM-2004-II-06

$$\eta_T = 1 - r_c^{1-k}$$

$$\eta_T = 1 - 8.5^{1-1.1} = 0.19$$

La eficiencia actual del motor es de 19%.

En el proceso de admisión de aire se debe tener en cuenta otro factor importante, que es la eficiencia volumétrica, en los motores al abrir la válvula de admisión permiten el ingreso de la mezcla aire combustible hacia el cilindro, esta no entra precisamente a la presión atmosférica debido al filtro de aire, carburador y válvulas que por ejercer fricción sobre el flujo reducen la presión. Existe otro factor que es la temperatura del múltiple de admisión que eleva la temperatura de la mezcla reduciendo su densidad. Teniendo el desplazamiento del motor y el flujo másico de aire se tiene:

$$e_v = \frac{120 \dot{m}_{aire}}{ND\rho}$$

La eficiencia volumétrica es un factor que varia dependiendo de los siguientes factores:

1. Velocidad del sonido en el vénturi del carburador.
2. Resistencia y tiempo de apertura de la válvula de admisión.
3. Trasmisión de calor en las paredes del cilindro durante la admisión
4. Temperatura y presión atmosféricas.
5. Vaporización de la mezcla.
6. Resistencia del sistema de admisión.

IM-2004-II-06

Entonces la potencia teórica en kWatts entregada por el motor sería:

$$P = m_{comb} \times e_v \times PCI \times \eta_T$$

El PCI, es el poder calorífico inferior del combustible. En este caso para la gasolina la potencia en HP, multiplicando por el factor de conversión 1.34.

PCI= 44506 kJ/kg.

Entonces la potencia teórica del motor depende de variables medidas en el banco de prueba y datos conocidos como el desplazamiento y razón de compresión.

4. BANCO DE PRUEBA

Para lograr todos los datos necesarios para el análisis del motor y obtener conclusiones es fundamental el uso de un banco de pruebas, que otorgue mediciones confiables para su posterior estudio. El banco de pruebas debe ser diseñado para un rango de potencia y revoluciones a las cuales opera el motor, de lo contrario la resolución y confiabilidad de los datos disminuiría considerablemente. La universidad de los andes cuenta con diferentes bancos de pruebas, en especial uno se acomoda perfectamente al rango de operación del motor.

4.1 Banco de pruebas utilizado.

Para lograr medir la potencia y eficiencia de un motor que genera una fuerza motriz rotatoria se utiliza un dinamómetro, midiendo el par de rotación estacionario proveniente del par rotatorio del cigüeñal del motor. El dinamómetro empleado en el banco de pruebas es de freno hidráulico.

Montaje de motor y banco de pruebas:



FIGURA 14. Montaje en el laboratorio.



FIGURA 15. Montaje en el laboratorio.

Sensores:

1. Psicrómetro: Se obtiene Temperatura de bulbo seco y humedad relativa, haciendo posible el calculo de la densidad del aire incluyendo la presión atmosférica en bogota.
2. Consumo de combustible: Tiene capacidad de 100 mL, con intervalos de 10mL, utilizando un cronometro se obtiene el flujo volumétrico, luego con la densidad el flujo másico.
3. Temperatura de motor: El sensor es ubicado en la culata cerca de la bujía al lado opuesto de las válvulas para una lectura correcta.
4. Anemómetro: Mide la velocidad del aire de admisión, conociendo el área del ducto se obtiene el flujo volumétrico de aire y con la densidad calculada el flujo másico.
5. Dinamómetro: Mide el par de rotación estacionario.
6. Tacómetro: Mide las revoluciones por minuto a las cuales opera el motor durante la prueba.

Partes:

7. Suministro de agua para el freno hidráulico.
8. Freno hidráulico
9. Ducto de acople admisión del carburador y anemómetro.

El banco de pruebas originalmente contaba únicamente con dinamómetro y tacómetro. Al motor se le implemento el sensor de consumo de combustible, consumo de aire, temperatura. Se adiciono el psicrómetro para poder calcular la densidad del aire.

4.2 Metodología para la toma de datos

Para poder comparar las diferentes pruebas se necesita que estas se hagan bajo la misma metodología. En los siguientes pasos se desarrollaron todas las pruebas:

1. Encendido del motor: Es necesario usar el choke, que permite enriquecer la mezcla durante los primeros minutos de operación, mientras el motor adquiere su temperatura de trabajo, se permite que el gobernador mecánico mantenga 3000 rpm durante 5 minutos, gradualmente se deja de usar el choque y el motor detiene su ascenso de temperatura.
2. El motor se encuentra listo para la toma de datos, por lo tanto se abre la válvula que permite el ingreso de agua hacia el freno, y se ubica en la posición deseada de carga.
3. Debido a la capacidad del sensor de consumo de combustible, es necesario reponer constantemente el combustible hasta alcanzar los 100mL.
4. Se deja que el motor trabaje en este régimen mientras consume 20 mL de combustible mientras se estabiliza la operación del carburador, y del motor en general.
5. Cuando el indicador de consumo de combustible se encuentra en 80 mL, se inicia conteo del tiempo con el cronometro.
6. Mientras el motor consume 20mL, se procede con la toma de datos: revoluciones por minuto, torque, temperatura del ambiente, humedad relativa, y el valor máximo registrado por el anemómetro.
7. Cuando el medidor de consumo de combustible se encuentra en 60 mL, se detiene el conteo del tiempo y se toma la temperatura del motor, si la temperatura del motor sobrepasa los 140°C se detiene la prueba por recalentamiento del motor.

8. Después de haber tomado todos los datos correspondientes a la prueba se cierra la válvula de ingreso de agua al freno, descargando el motor y permitiendo que baje su temperatura.
9. Ya el motor se encuentra listo para la siguiente prueba por lo tanto continuamos en el paso numero 2.

En las primeras pruebas desarrolladas con el motor, la operación era inestable, tenía baja potencia, su encendido era bastante tedioso, el consumo de combustible era excesivo. Era necesario un mantenimiento, para garantizar una correcta operación y datos confiables. Cambio de aceite, recomendado por el fabricante, SAE 30. Cambio de bujía, marca denso. Dar el torque necesario a los tornillos de la culata. Después de este mantenimiento el motor trabaja muy estable y el encendido es fácil.

5. PRUEBAS DEL MOTOR

5.1 Pruebas a velocidad constante

El motor viene de fabrica con un gobernador mecánico ajustable, que opera entre 2200 y 3600 revoluciones por minuto, para las pruebas se ajusto el gobernador para mantener una velocidad de 3000 revoluciones por minuto. La mayoría de aplicaciones de este motor son estacionarias, por ejemplo bombas de agua, generadores eléctricos. Con el gobernador se facilitan este tipo de pruebas ya que el motor esta diseñado para este régimen de operación. Los datos obtenidos en cada una de las siguientes pruebas tienen un ajuste previo del carburador para variar la mezcla aire-combustible.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras- pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
2900	0	1.1	180.78	22.9	41.3	58.1
2900	0.5	1.2	180.12	22.9	46.5	64.1
3100	0.7	1.29	169.28	21	47.2	67.6
3100	1	1.35	160.8	20.9	48.4	71.3
3100	1.3	1.51	148.75	20.9	50.1	73.1
3000	1.6	1.63	143.81	20.8	53.6	75.4
3000	2	1.76	138.87	20.7	56.4	79
3000	2.3	1.99	134.94	20.7	53.7	80.1
3000	2.6	2.3	118.84	20.8	48.8	80.7
3000	3	2.54	111.09	21	48.8	84.4
3000	3.3	2.75	103.94	21.3	47.1	87.3
3000	3.7	2.88	102.34	21.2	49.4	90
3000	4	3.1	96.96	21.2	48.5	94.5
3000	4.3	3.31	93.18	21.3	47.6	95.6
2900	4.5	3.51	90.1	21.6	45.3	98.4

TABLA 1. Prueba 1 a velocidad constante.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3000	0	1.05	172.13	19.8	46.6	71.2
3100	0.5	1.18	167.44	20	47	76.6
3100	0.7	1.3	165.97	20.2	46.2	82.1
3100	1	1.36	160.59	20.3	44.5	84.3
3100	1.3	1.52	157.53	20.4	44.5	85.5
3100	1.6	1.69	152.78	20.6	44.4	87.2
3100	2	1.92	139.29	20.6	43.8	88.1
3100	2.3	2	132.37	20.6	43	93.1
3000	2.6	2.22	117.96	20.7	43.7	95.2
3000	3	2.54	107.75	20.8	43.8	97.4
3000	3.3	2.7	103.16	20.8	43.7	101.4
3000	3.7	3.02	97.03	20.7	43.8	104.2
3000	4	3.15	95.41	20.8	43.6	107.3
3000	4.3	3.33	89.41	21.2	43.3	108.4
3000	4.5	3.37	87.31	21.2	43.3	109.4
3000	4.8	3.43	85.85	21.2	42.6	113.1
3000	5	3.52	86.44	21.2	43.4	115.2
2900	5.3	3.93	86.53	21.2	42.8	117.4
2900	5.5	4.14	85.94	21.2	43.2	118.2
2800	5.7	4.13	86.12	21.3	42.8	121.3

TABLA 2. Prueba 2 a velocidad constante.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3000	0	1.24	164.35	20	45.4	75.4
3000	0.5	1.39	162.54	20.2	44.3	81.4
3000	0.7	1.45	160.32	20.2	45.2	84.8
3100	1	1.48	159.25	20.2	45.4	85.7
3100	1.3	1.56	156.35	20.3	45.4	87.4
3100	1.6	1.68	152.36	20.4	43.2	91.4
3100	2	1.98	134.39	20.7	44.9	94.5
3100	2.3	2.14	128.35	20.7	43.8	97.4
3100	2.6	2.54	110.42	20.7	43.8	100.8
3100	3	2.65	100.84	20.8	43.8	104.2

3000	3.3	2.74	99.42	20.8	43.6	106.9
3000	3.7	2.89	98.75	20.8	43.7	109.2
3000	4	2.98	97.24	21	43.7	110.8
3000	4.3	3.25	96.25	21	44.3	114.5
3000	4.5	3.35	94.32	21	43.5	117.2
3000	4.8	3.42	92.87	21	43.5	120.9
3000	5	3.54	90.34	21	43.4	124.1
2900	5.3	3.64	88.21	21.1	43.2	126.2
2900	5.5	3.68	86.24	21.1	43.2	130.2
2900	5.7	3.91	82.42	21.2	43.1	133.4
2800	6	4.08	82.24	21.2	43.1	137.2

TABLA 3. Prueba 3 a velocidad constante.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras- pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3000	0	1.09	174.56	20.1	40.1	65.4
3100	0.5	1.22	172.54	20.1	40.2	72.3
3100	0.7	1.31	169.87	20.1	40.2	75.2
3100	1	1.38	162.25	20.2	41.2	77.4
3100	1.3	1.51	158.64	20.2	43.5	78.2
3100	1.6	1.65	152.36	20.2	43.7	81.2
3100	2	1.84	149.25	20.3	43.7	83.4
3100	2.3	1.95	133.54	20.5	43.7	88.1
3000	2.6	2.24	122.25	20.6	43.7	90.2
3000	3	2.37	117.26	20.7	43.8	91.9
3000	3.3	2.52	108.54	20.8	43.9	95.1
3000	3.7	2.67	105.26	20.8	43.8	97.8
3000	4	2.84	98.14	20.8	43.7	100.8
3000	4.3	2.97	96.25	20.9	43.6	103.2
2900	4.5	3.14	93.47	21.1	43.2	105.2
2900	4.8	3.25	89.24	21.2	43.4	108.8
2900	5	3.38	87.57	21.3	43.6	110.2
2800	5.3	3.44	84.23	21.3	43.7	115.2

TABLA 4. Prueba 4 a velocidad constante.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3000	0	1.02	184.23	19.2	43.5	52.5
3000	0.5	1.12	175.64	19.3	43.5	60.3
3000	0.7	1.23	167.56	19.5	42.9	63.2
3100	1	1.27	165.44	19.6	42.5	65.4
3100	1.3	1.42	161.88	19.8	42.5	67.8
3000	1.6	1.54	157.99	20	42.6	71.2
3000	2	1.75	152.26	20.1	42.6	74.1
3000	2.3	1.92	142.25	20.2	42.7	75.8
3000	2.6	2.15	131.57	20.2	42.8	77.4
2900	3	2.28	124.25	20.2	43.2	81.2
2900	3.3	2.48	118.36	20.3	43.5	82.2
2900	3.7	2.58	112.32	20.4	43.6	84.2
2800	4	2.76	103.45	20.4	43.7	87.5

TABLA 5. Prueba 5 a velocidad constante.

Con los datos correspondientes a cada una de las pruebas se introducen en una hoja de calculo en el programa Excel de Microsoft, para su análisis. A continuación se presenta el procedimiento matemático desarrollado en la hoja de calculo.

Se utilizan las siguientes constantes:

Densidad de la gasolina: 750 kg/m^3 .

Cilindrada del motor: 0.0001483 m^3 .

Area efectiva sobre el sensor del anemómetro: $8.4\text{E-}4 \text{ m}^2$.

Poder Calorífico inferior de la gasolina: 44506 kJ/kg .

Eficiencia actual del motor: 19%.

Formulas utilizadas:

Caudal de aire: Conociendo la velocidad aire obtenida con el anemómetro, se multiplica por el área efectiva.

$$\dot{V}_a = V_a \times A_f$$

Flujo másico de aire: Con la temperatura del ambiente y humedad relativa se calcula la densidad del aire, multiplicando por el caudal de aire se obtiene el flujo másico.

$$\dot{m}_a = \dot{V}_a \times \rho_a$$

Eficiencia volumétrica: Teniendo el flujo másico de aire, las revoluciones por minuto, el desplazamiento y la densidad del aire. Se calcula con la siguiente formula.

$$e_v = \frac{120 \dot{m}_{aire}}{ND\rho}$$

Caudal de gasolina: Se conoce el tiempo en el que el motor consume 20 mL de combustible, entonces.

$$\dot{V}_c = 0.00002m^3 / tiempo$$

Flujo másico de gasolina: Multiplicando el caudal por la densidad de la gasolina se tiene,

$$\dot{m}_c = (750 \text{ kg} / \text{m}^3) \times \dot{V}_c$$

Relación A/F, F/A: Para obtener la relación aire-combustible es necesario dividir el flujo másico de aire sobre el flujo másico de gasolina.

$$A / F = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

$$F / A = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a}$$

Potencia teórica: Se multiplican el flujo másico de combustible, la eficiencia volumétrica, el poder calorífico inferior del combustible y la eficiencia del motor. En caballos de potencia,

$$P = \dot{m}_{comb} \times e_v \times PCI \times \eta_T \times 1.34$$

Potencia al freno: El banco de pruebas viene especificado de fabrica para usar la siguiente formula:

$$BHP = \frac{RPM \times Torque}{10000}$$

Consumo específico de combustible: Se obtiene del flujo másico de gasolina y la potencia del motor. Las unidades son kg comb/Hp-hr,

$$cec = \frac{m_c}{BHP} \times 3600$$

Calculando la potencia teórica y comparando con la potencia al freno obtenida en cada prueba se tiene:

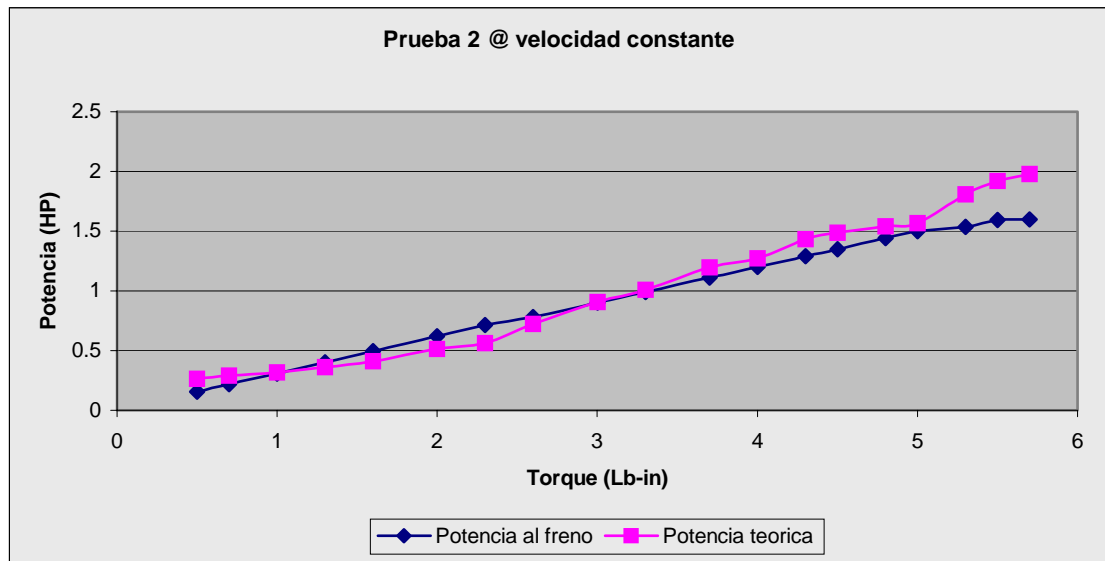


FIGURA 16. Potencia teórica y real en la prueba 2 a velocidad constante.

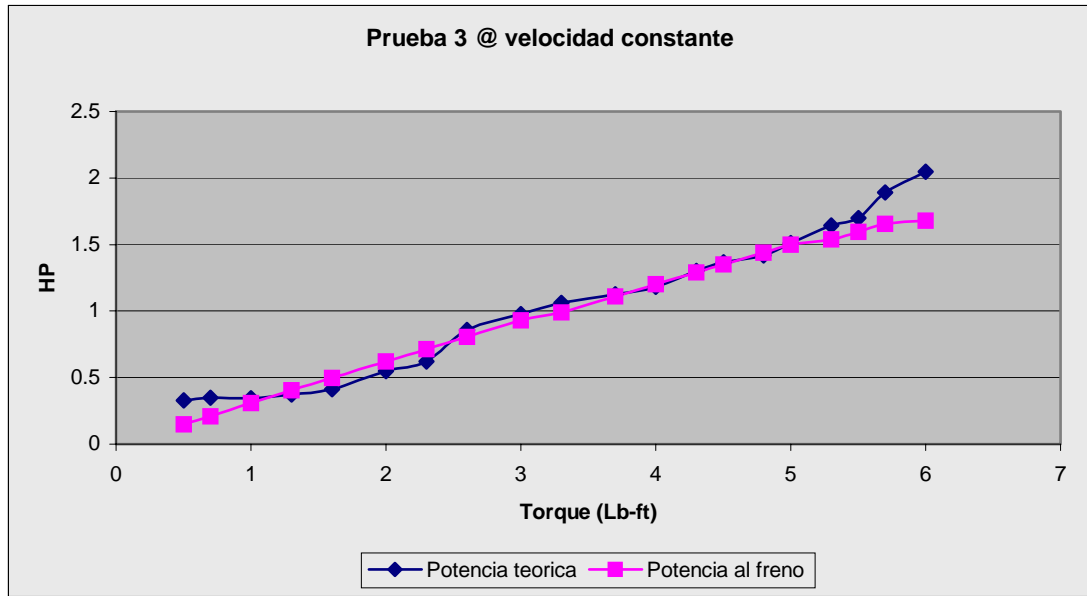


FIGURA 17. Potencia teórica y real en la prueba 3 a velocidad constante.

La potencia teórica calculada tiene valores muy similares a los registrados por el freno, esto genera un buen nivel de confianza sobre el banco de pruebas.

Para cada prueba se tiene una diferente mezcla de aire-combustible, cuando se refiere a una mezcla rica quiere decir que tiene mas combustible que aire comparado con la relación estequiométrica, cuando se dice que la mezcla es pobre, la cantidad de combustible con respecto al aire es menor que la estequiométrica.

La relación aire-combustible estequiométrica o químicamente correcta, es cuando los productos de la combustión se encuentran completamente oxidados, en la practica usualmente los valores de la relación aire-combustible son cercanos al estequiométrico, variando el desempeño del motor y productos de la combustión.

El valor estequiométrico de la combustión entre aire y gasolina es 14,6 aproximadamente, como el carburador del motor utilizado no es capaz de

mantener la misma relación aire-combustible mientras la mariposa de aceleración cambia de posición es preciso utilizar el promedio durante cada prueba.

Promedios					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Velocidad (rpm)	3000.00	3015.00	3010.00	3011.73	2975.15
Temperatura amb (°C)	21.28	20.74	20.77	20.65	20.00
Humedad relativa (%)	48.85	44.00	43.91	43.08	43.01
Potencia (HP)	0.69	0.91	1.00	0.87	0.63
Relación A/F (kga/kgc)	12.66	13.43	13.92	13.00	12.45
Temperatura motor (°C)	79.97	98.83	107.91	92.44	74.06

TABLA 6. Promedios de pruebas a velocidad constante.

La temperatura del motor se ve claramente afectada por el ajuste de mezcla en el carburador al igual que la potencia máxima, para la prueba 3 el carburador proporciona una mezcla mas pobre, esto genera mayor potencia máxima pero a su vez el motor trabaja a mayor temperatura. Para la prueba 5, la mezcla es rica y el motor trabaja a menores temperaturas, pero la potencia máxima es considerablemente menor.

La temperatura ambiente y humedad relativa durante las pruebas es muy similar por lo tanto la comparación del desempeño del motor es posible, el gobernador mecánico funciona en el rango apropiado, 3000 revoluciones por minuto.

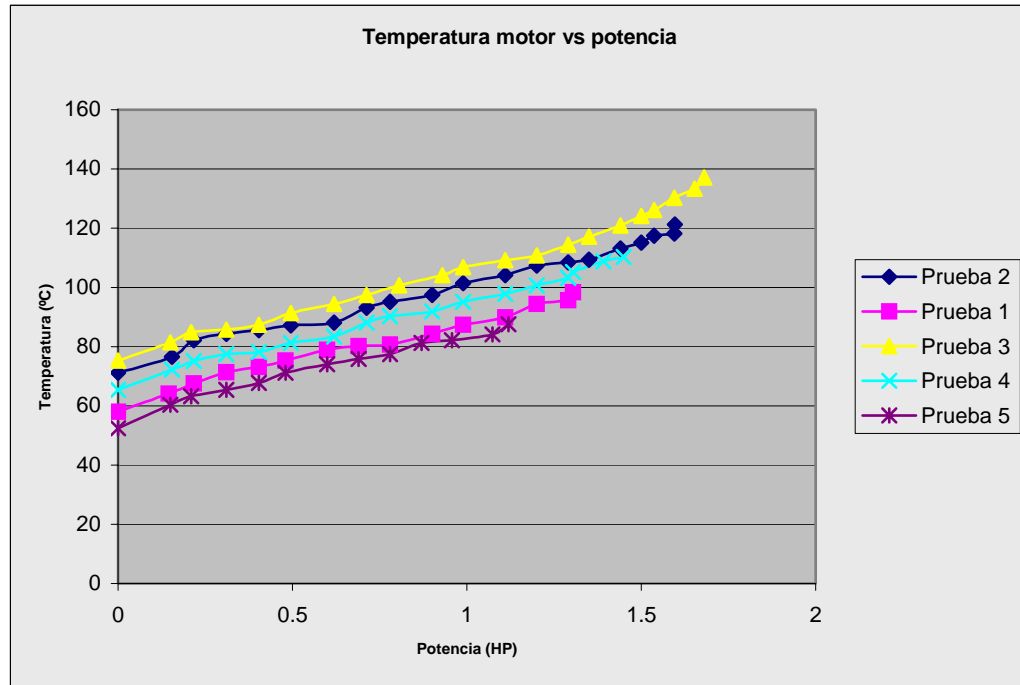


FIGURA 18. Temperatura de operación para cada prueba a velocidad constante.

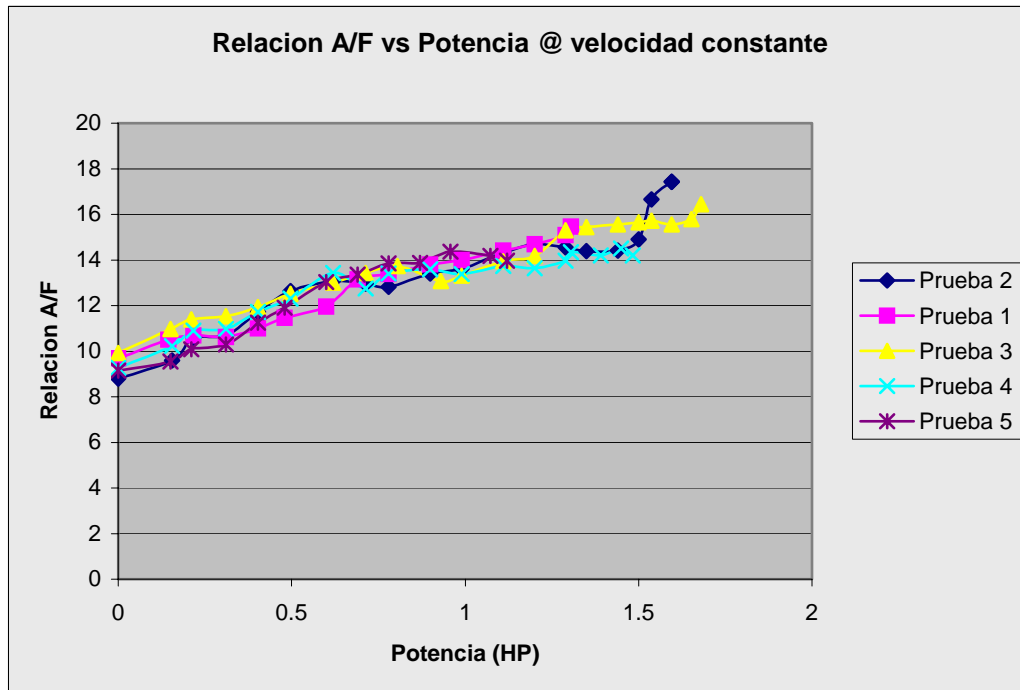


FIGURA 19. Relación A/F para cada prueba a velocidad constante.

La anterior grafica es bastante confusa, pero analizando el comportamiento de la relación A/F con la potencia se puede ver que el carburador ofrece una relación cercana a la estequiométrica entre 1,2 y 1,5 HP, debajo de este valor la mezcla tiende a enriquecer, y por encima de este valor la mezcla se empobrece.

El consumo especifico de combustible es un factor muy importante en motores, este varia de la siguiente forma.

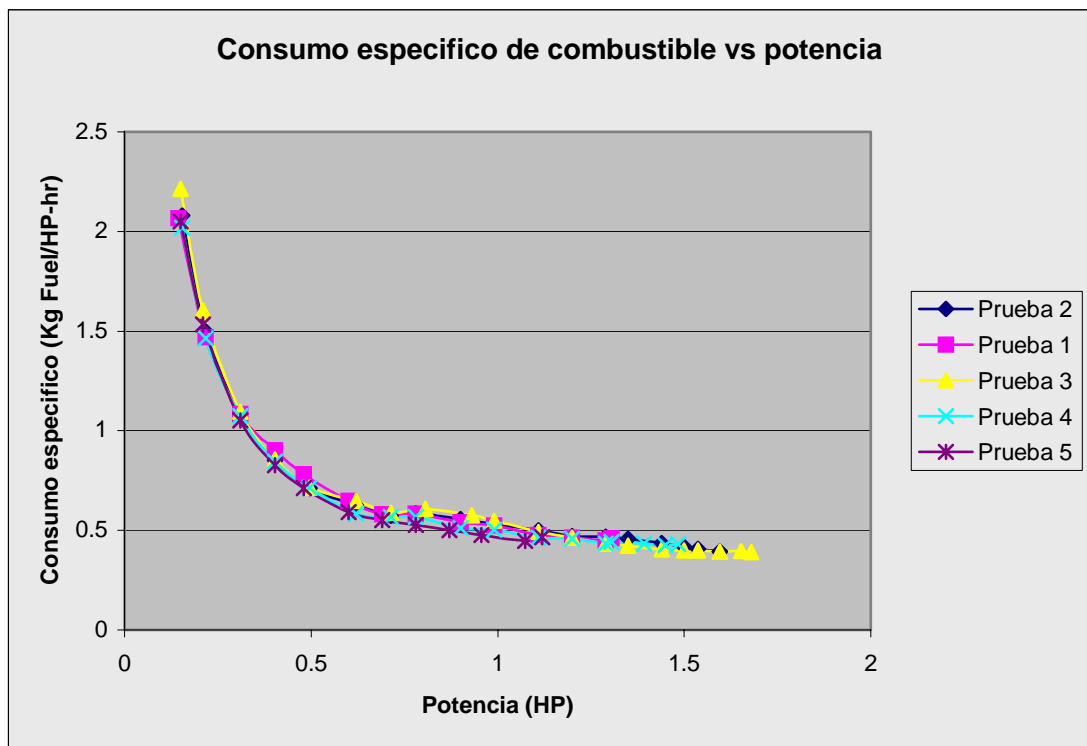


FIGURA 20. Consumo especifico de combustible para cada prueba a velocidad constante.

Si el motor tiene un valor de consumo especifico de combustible bajo, quiere decir que consume poco combustible para entregar la potencia, luego se paga menos dinero por la potencia entregada por el motor.

El motor tiene valores mas bajos de consumo especifico de combustible cuando se le pide mas potencia, por lo tanto operarlo a baja potencia no es rentable, Los valores mas bajos de consumo especifico de combustible son obtenidos en la prueba 3, que tiene la mezcla mas pobre, pero a su vez tiene la mayor temperatura registrada, esto indica que el motor sufrirá un desgaste prematuro trabajando bajo este régimen.

5.2 Pruebas de velocidad variable a plena potencia.

En las pruebas a plena potencia la mariposa de aceleración se encuentra totalmente abierta, el motor siempre esta entregando su máxima potencia, y el gobernador mecánico de revoluciones no opera, el motor varia su velocidad dependiendo de la carga que se imponga en el freno hidráulico. En este tipo de pruebas cuando la temperatura de motor supera los 140 °C se suspende la carga y se deja que el gobernador actúe para bajar la temperatura.

El sistema de enfriamiento del motor es por aire que proviene de un ventilador acoplado a cigüeñal, este por medio de un ducto llega a las aletas de la culata y bloque. Esto quiere decir que a mayores revoluciones mas velocidad del aire, luego mas enfriamiento, y a bajas poco aire para enfriar el motor.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras- pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3600	5	5.63	41.2	21.3	44	125.2
3500	5	5.54	42.4	21.3	44	126.3
3400	4.9	5.42	43.5	21.2	44	127.8
3300	4.8	5.34	44.8	21.1	43	128.7
3200	4.7	5.27	45.2	21	43	129.8
3100	4.6	5.1	46.1	21	43	130.4
3000	4.5	4.94	47.4	20.9	42	131.5
2900	4.4	4.82	48.6	20.9	43	132

2800	4.3	4.69	49.9	20.8	43	133.2
2700	4.2	4.58	51	20.7	43	134.7
2600	4.1	4.47	52.1	20.7	44	135.2
2500	4.1	4.35	53.1	20.8	43.6	136.2

TABLA 7. Prueba 1 a plena potencia.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3600	5.5	5.72	44.5	20.7	42.1	128.2
3500	5.5	5.64	45.7	20.7	42.3	129.4
3400	5.5	5.61	45.1	20.6	42.5	129.9
3300	5.4	5.57	46.8	20.6	42.7	130.4
3200	5.3	5.39	47.6	20.6	43.2	131.7
3100	5.2	5.24	49.1	20.7	43.1	132.8
3000	5.1	5.16	50.3	20.7	43	133.9
2900	5	4.97	51.2	20.7	43.2	135
2800	4.9	4.82	52.2	20.6	43.1	136.2
2700	4.8	4.71	53.1	20.6	42.9	137.8
2600	4.7	4.64	54.2	20.6	42.8	138.7
2500	4.7	4.61	54.9	20.6	42.7	139.4

TABLA 8. Prueba 2 a plena potencia.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3600	6	5.85	47.8	21.2	41.5	130.2
3500	6	5.74	49.1	21.2	41.6	131.4
3400	6	5.65	50.4	21.3	41.6	132.5
3300	5.9	5.52	51.6	21.3	42	133.2
3200	5.8	5.47	52.8	21.3	42.3	134.8
3100	5.7	5.32	53.4	21.4	42.4	135.9
3000	5.6	5.25	54.9	21.3	42.5	136.5
2900	5.5	5.14	56	21.3	42.5	137.2
2800	5.4	5.02	56.9	21.2	42.6	138.4
2700	5.3	4.91	59.4	21.2	42.7	139.2
2600	5.2	4.79	60.8	21.1	42.7	140.1

TABLA 9. Prueba 3 a plena potencia.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3600	6.2	5.94	50.4	21.3	43	130.8
3500	6.2	5.84	51.5	21.3	43	131.7
3400	6.2	5.76	52.8	20.9	42	132.7
3300	6.1	5.62	53.9	20.8	42	133.5
3200	6	5.55	55	20.8	43	134.8
3100	5.9	5.42	56.2	20.7	42	135.9
3000	5.8	5.31	57.3	20.7	41	137
2900	5.7	5.21	58.5	20.6	41	138.4
2800	5.6	5.12	59.8	20.5	41	139.2

TABLA 10. Prueba 4 a plena potencia.

Velocidad angular (rpm)	Torque(libras-pie)	Velocidad aire adm (m/s)	Tiempo comb (seg/20 mL)	Temp amb °C	RH%	Temp motor °C
3600	5	5.63	41.2	21.3	44	125.2
3500	5	5.54	42.4	21.3	44	126.3
3400	4.9	5.42	43.5	21.2	44	127.8
3300	4.8	5.34	44.8	21.1	43	128.7
3200	4.7	5.27	45.2	21	43	129.8
3100	4.6	5.1	46.1	21	43	130.4
3000	4.5	4.94	47.4	20.9	42	131.5
2900	4.4	4.82	48.6	20.9	43	132
2800	4.3	4.69	49.9	20.8	43	133.2
2700	4.2	4.58	51	20.7	43	134.7
2600	4.1	4.47	52.1	20.7	44	135.2
2500	4.1	4.35	53.1	20.8	43.6	136.2

TABLA 11. Prueba 5 a plena potencia.

El procedimiento para procesar los datos obtenidos en las pruebas es el mismo utilizado para las pruebas de velocidad constante. Los resultados de la hoja de calculo al igual que las graficas tienen un análisis diferente.

El motor durante las pruebas de plena potencia siempre trabaja a temperaturas elevadas comparado con las pruebas de velocidad constante ya que esta entregando toda la potencia disponible.

Promedios	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Velocidad (rpm)	3475.00	3150.00	3050.00	3155.56	3004.17
Temperatura amb (°C)	20.54	20.65	21.26	20.79	20.95
Humedad relativa (%)	44.49	42.81	42.29	41.89	43.24
Potencia (HP)	1.56	1.65	1.73	1.88	1.37
Relación A/F (kga/kgc)	12.01	12.48	14.02	14.86	11.47
Temperatura motor (°C)	130.37	132.53	135.92	135.34	131.39

TABLA 12. Promedios de pruebas a plena potencia.

Las pruebas se desarrollaron en condiciones de ambiente similares, por lo que los resultados pueden ser comparados. El valor promedio de la velocidad no es comparable en este caso, ya que cada prueba utiliza rangos diferentes.

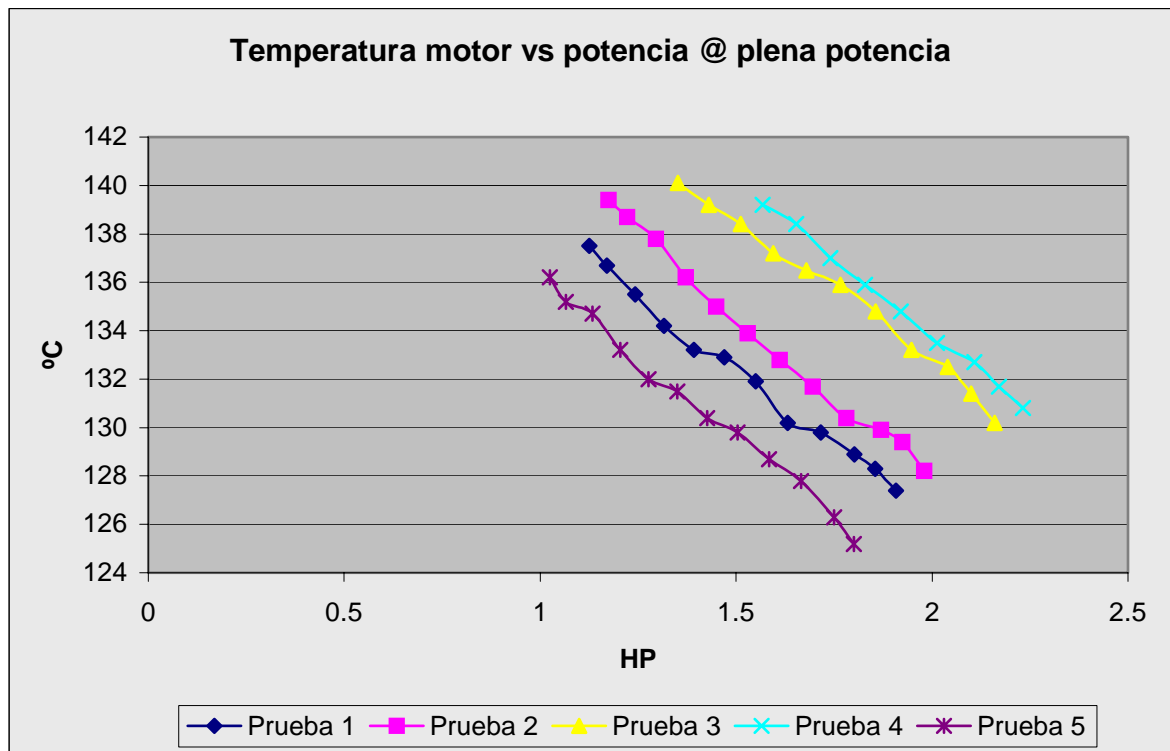


FIGURA 21. Temperatura del motor para cada prueba a plena potencia.

Cuando el motor en este tipo de pruebas genera mas potencia se encuentra a mayores revoluciones esto genera mas flujo de aire para refrigeración, esta es la razón del comportamiento de la temperatura en las pruebas.

El carburador mantiene casi constante el valor de la relación aire-combustible durante las pruebas.

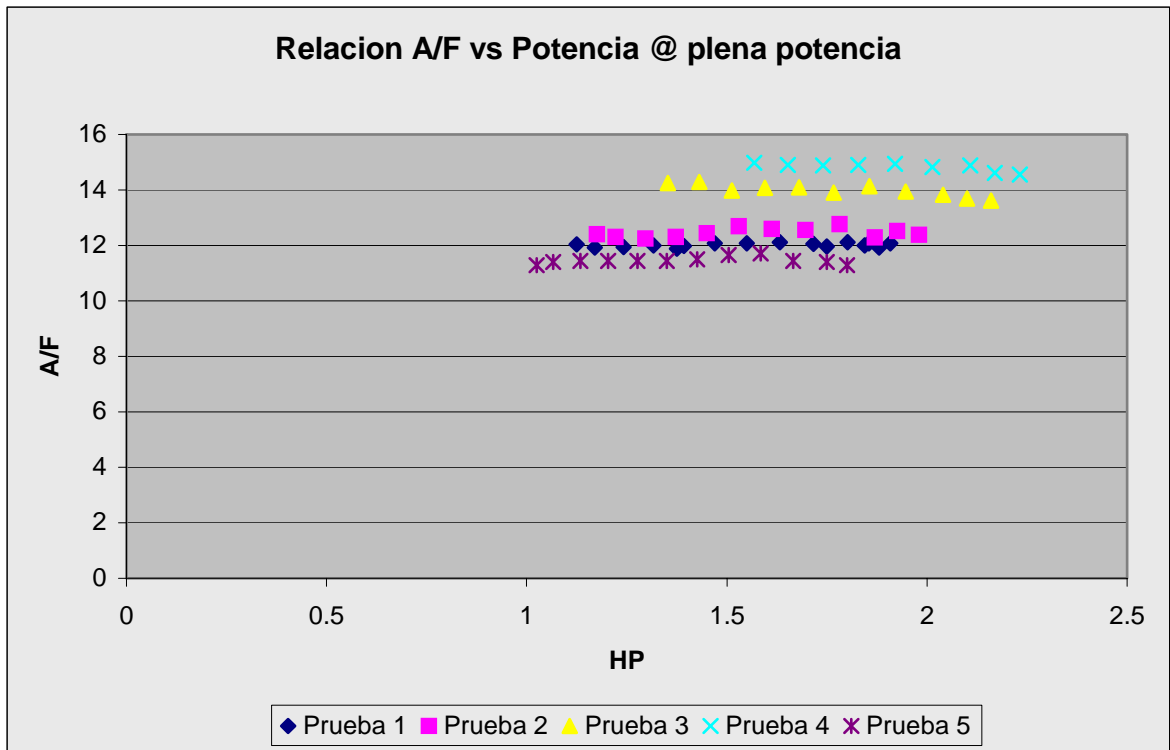


FIGURA 22. Relación A/F para cada prueba a plena potencia.

En la pruebas 3 y 4 la relación aire-combustible es mayor que la estequiométrica y el motor alcanza potencias mayores a su vez registrando mayores temperaturas de operación.

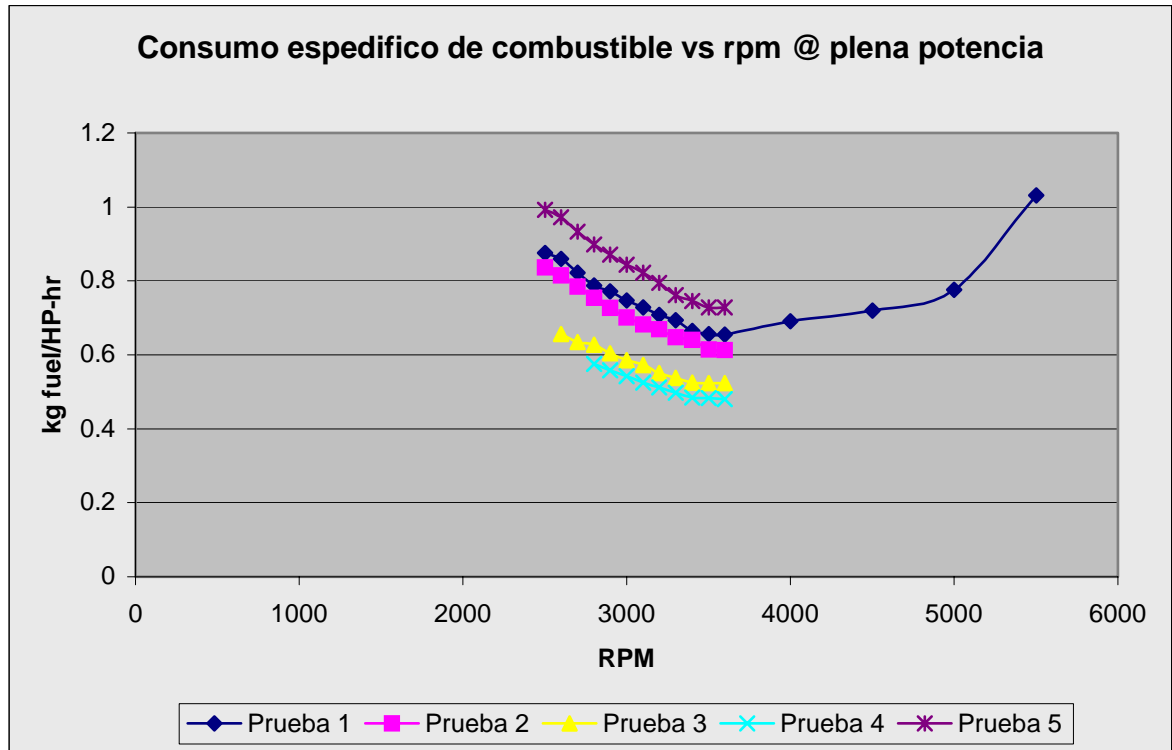


FIGURA 23. Consumo específico de combustible para cada prueba a plena potencia.

En la prueba 1 el motor fue llevado hasta 5500 rpm, y desde que el motor supera las 3600 rpm tiene un aumento considerable del consumo específico de combustible, también la eficiencia volumétrica del motor disminuye al aumentar las revoluciones. El fabricante determina como máximo rango de operación 3600 rpm, con la prueba 1 se demuestra que operar el motor por encima de este valor baja la eficiencia considerablemente, por lo tanto en las siguientes pruebas el motor nunca excede las 3600 rpm.

Los menores valores de consumo específico se registraron en las pruebas 3 y 4 correspondiente a mezclas pobres, mientras las mezclas ricas tienen valores mayores.

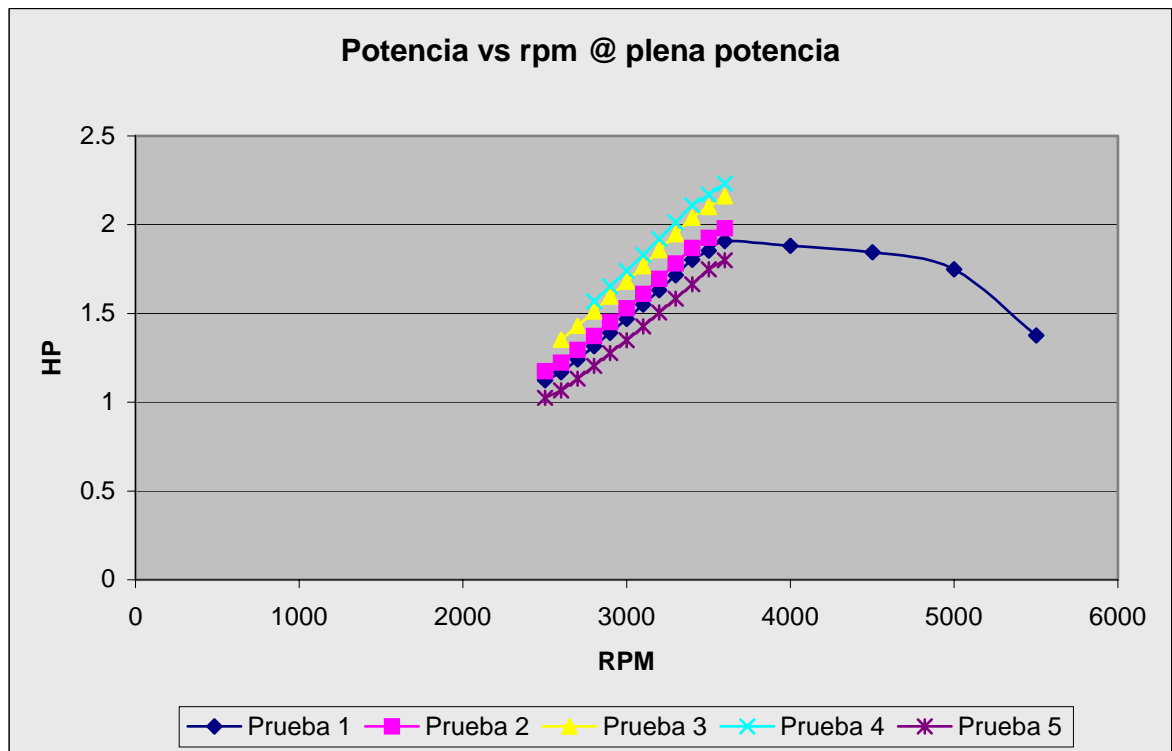


FIGURA 24. Potencia contra velocidad angular para cada prueba a plena potencia.

La mayor potencia registrada se obtuvo en la prueba 4, con un valor de 2.23 HP, correspondiente al 74% de la potencia nominal del motor, 3 HP. 26% es el valor corresponde a la pérdida de potencia causa de la altura de bogota, el aire es menos denso, por lo tanto el motor tiene menos aire en el cilindro y puede quemar menos gasolina bajando así su potencia.

Para la prueba 1 cuando el motor supera las 3600 rpm, la potencia disminuye, demostrando por que el fabricante no recomienda superar esta velocidad. Las pruebas que registran relaciones aire-combustible mayores a su vez registran alta potencia.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos el interés se encuentra en la potencia máxima y el mínimo consumo específico de combustible. Ya que se hicieron dos tipos de pruebas estos máximos y mínimos deben ser analizados para cada prueba.

La máxima potencia en las pruebas de velocidad constante fue registrada en la prueba 3, y a su vez obtiene el menor consumo específico de combustible, los valores registrados son los siguientes.

Prueba 3 (Vel const)	
Velocidad (rpm)	2800
Temperatura amb (°C)	21.2
Humedad relativa (%)	43.1
Potencia (HP)	1.68
Relación A/F (kga/kgc)	16.44
Temperatura motor (°C)	137.2
CEC (kg fuel/HP-hr)	0.39

TABLA 13. Potencia máxima en pruebas de velocidad constante.

En las pruebas de plena potencia la máxima potencia fue registrada en la prueba 4, también con el menor consumo específico de combustible.

Prueba 4 (Plena pot)	
Velocidad (rpm)	3600
Temperatura amb (°C)	21.3
Humedad relativa (%)	43
Potencia (HP)	2.23
Relación A/F (kga/kgc)	14.57
Temperatura motor (°C)	130.8
CEC (kg fuel/HP-hr)	0.48

TABLA 14. Potencia máxima en pruebas de plena potencia.

El comportamiento de la potencia y consumo específico de combustible está ligado totalmente a la relación aire-combustible, en general al empobrecer la mezcla se genera más potencia y el consumo específico de combustible disminuye, pero también la temperatura del motor es un factor importante, las mezclas pobres generan temperaturas considerablemente altas.

Es posible obtener potencias cercanas a la nominal y consumos específicos bajos ajustando el carburador para una mezcla pobre, pero la alta temperatura de operación reduciría considerablemente la vida del motor.

Operar el motor a plena potencia por debajo de 2800 rpm genera alta temperatura, ya que la refrigeración es insuficiente a la altura de Bogotá. El rango óptimo a plena potencia se encuentra entre 3000 rpm y 3400 rpm, se logra una buena potencia, sin exigir tanto al motor. A plena potencia es recomendable la misma configuración utilizada en la prueba 3, con una relación aire-combustible promedio de 14.02, que es inferior a la relación estequiométrica es decir una mezcla rica, por lo tanto una temperatura óptima de operación.

Para la operación a velocidad constante a 3000 rpm, la configuración óptima de mezcla es encontrada en la prueba 4, con un valor promedio de relación aire-

combustible de 13.00, este valor corresponde a una mezcla rica, la temperatura de operación desciende considerablemente al usar esta mezcla.

El procedimiento usado para calcular la potencia teórica se acomoda muy bien a la potencia real del motor, haciendo muy confiable el desempeño del banco de pruebas.

La potencia máxima del motor en bogota es aproximadamente un 74% de la potencia nominal del motor, sin embargo no es recomendable operar el motor a esta potencia ya que este es un valor máximo y deteriora el motor rápidamente. Es recomendable que el motor en bogota trabaje entre el 40% al 50% de su potencia nominal, por lo tanto a la hora de seleccionar un motor para alguna aplicación es importante tener este valor en cuenta, para maximizar la vida del motor. Si el motor se emplea a menos del 40% de su potencia nominal el consumo específico de combustible aumenta considerablemente, por lo tanto la operación y costo inicial del motor es mucho mayor del necesario para la aplicación.

La máxima potencia del motor se encuentra con mezclas superiores al valor estequiométrico $A/F=14,6$. Debido al funcionamiento del carburador, que empobrece la mezcla al aumentar la apertura de la mariposa de aceleración, el consumo específico de combustible disminuye siempre que se encuentre mayor potencia, es decir no se sacrifica potencia al disminuir el consumo específico de combustible. Lo único que se sacrifica en la búsqueda de mas potencia y menor consumo específico de combustible es la vida del motor.

BIBLIOGRAFÍA

1. [www.educared.net/.../ 196/motor_de_4_tiempos.htm](http://www.educared.net/.../196/motor_de_4_tiempos.htm)
2. <http://www.el-mundo.es/motor/MVnumeros/97/MV003/MV003taller1.html>
3. <http://www.mundofree.com/burnout/tecnica/motor.htm>
4. http://www.iespana.es/mecanicavirtual/indice_cursos.html
5. http://webs.ono.com/usr041/cprcartagena2/und_01/ud_01.html
6. <http://www.tulsaenginewarehouse.com/catalog/tecumseh/specs/h3035/>
7. http://tamarugo.cec.uchile.cl/%7Eroroman/pag_2/CARBU/carburad.htm
8. Charles F. Taylor. "The Internal Combustion Engine in Theory and Practice"., The MIT Press, 2nd Edition, 1986.
9. Obert, Edward. "Motores de Combustión Interna – Análisis y Aplicaciones", Editorial CECSA, 1999, Reimpr No. 20.
10. Campbell, Ashley. "Thermodynamic Analysis of Combustion Engines", John Wiley & Sons, 1979.
11. Henao de Brigard, Bernardo. "Pruebas de consumo de combustible", Bogotá : Uniandes, 1983.

12. Sparrow, Stanwood W , "Relation of fuel-air ratio to engine performance", National Bureau of Standards (Washington, DC, United States) NACA Report 189, 16 pp. , 1925.

13. Dickinson, H C "Effect of compression ratio, pressure, temperature, and humidity on power", (National Bureau of Standards) James, W S Anderson, G V Brinkerhoff, V W , NACA NACA Report 45, 26 pp. , 1920

14. Sparrow, Stanwood W , "Correcting horsepower measurements to a standard temperature", National Bureau of Standards (Washington, DC, United States) NACA Report 190, 16 pp. , 1925

15. Brooks, D G Garlock, E A , "The effect of humidity on engine power at altitude", NACA Langley Memorial Aeronautical Laboratory (Langley Field, Va, United States) NACA Report 426, 7 pp. , 1933

16. Schwager, O." Behavior of aviation engines at different air densities", NACA Technical Memorandum 60, 10 pp. , 1922