

OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO EN UN BANCO DE PRUEBAS

RAFAEL ANDRÉS ZAMBRANO MANTILLA
CHRISTIAN MARTIN NÚÑEZ PRADA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
FLORIDABLANCA

2013

OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE
COMBUSTION INTERNA ALTERNATIVO EN UN BANCO DE PRUEBAS

RAFAEL ANDRES ZAMBRANO MANTILLA

CHRISTIAN MARTIN NÚÑEZ PRADA

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico

Director

JAVIER MAURICIO CASTELLANOS OLARTE

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

FLORIDABLANCA

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 27 de mayo de 2013

DEDICATORIA

A Dios, por darme una vida llena de grandes enseñanzas, por colocar grandes retos y obstáculos en mi camino los cuales me ayudaron a madurar y aprender a tomar decisiones en medio de dificultades, por darme sabiduría, paciencia, fuerza y perseverancia en los momentos que más lo necesitaba.

A mi mamá Nubia, por enseñarme el valor de la nobleza y el respeto pues gracias a ella aprendí que para conseguir mis metas no debo humillar ni ofender a nadie.

A mi padre Rafael, por siempre creer en mí y querer darme la mejor formación personal y profesional, por enseñarme a soñar y pensar en grande, por demostrarme que el trabajo honrado es el que mayor satisfacción genera.

A mi hermana Johana por cada uno de sus consejos, a mi novia por enseñarme la importancia de la puntualidad y el orden, a mi mejor amigo por ayudarme a tomar decisiones en los momentos más difíciles de mi vida, a mis profesores por compartir conmigo sus conocimientos y a la UPB por darme una formación integral.

Finalmente a mis familiares, amigos y compañeros de clase que se encargaron de enriquecer mi vida en valores y principios humanos. Sin duda alguna este trabajo no sería el mismo si existiera la ausencia de alguna de estas personas.

Rafael A. Zambrano Mantilla

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este proyecto primero que todo a Dios por haberme permitido llegar hasta el final de esta carrera, por darme sabiduría, perseverancia y fortaleza día a día.

A mis padres Arturo Núñez y Luz Mila Prada, por haberme brindado el apoyo incondicional durante todo este tiempo, que me permitió lograr este triunfo, un triunfo que no es solo mío sino también de ellos y de toda mi familia.

A Víctor Cuellar y a Ludwing casas, por el apoyo que me brindaron, y a todos mis compañeros, profesores y amigos que estuvieron junto a mi durante estos largos 6 años.

Christian M. Núñez Prada

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser el motor de nuestra inspiración para la creación de nuevos proyectos. A nuestros padres por ser herramientas fundamentales para la elaboración de este trabajo. A nuestros maestros por compartir sus conocimientos con nosotros. A nuestros amigos por apoyarnos y acompañarnos en toda nuestra carrera. A los encargados del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana ya que gracias a ellos aprendimos importantes procesos de fabricación y por ultimo a la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga por permitirnos ser parte de este excelente plantel educativo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 TIPOS DE ENSAYOS EN BANCOS DE PRUEBAS	16
1.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES	17
1.3 NORMATIVIDAD EMPLEADA EN EL CÁLCULO DE LA POTENCIA	19
1.4 EXPLICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS	26
2. MONTAJE, CONFIGURACIÓN Y DESARROLLO DEL BANCO DE PRUEBAS	28
3. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR	33
3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5. BIBLIOGRAFÍA	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo banco de motor.....	15
Figura 2 Ejemplo banco de rodillos.....	16
Figura 3 Ejemplo curva de potencia.....	18
Figura 4 Ejemplo curva de torque.....	22
Figura 5 Ejemplo curva de consumo especifico.....	24
Figura 6 Elementos de un banco de ensayos.....	28
Figura 7 Banco de pruebas.....	31
Figura 8 Dato dividido en cero.....	36
Figura 9 Curvas características prueba 1.....	37
Figura 10 Curvas características prueba 2.....	38
Figura 11 Curvas características prueba 3.....	39
Figura 12 Curvas características prueba 4.....	40
Figura 13 Curvas características prueba 5.....	41
Figura 14 Curvas características prueba 6.....	42
Figura 15 Curvas características prueba 7.....	43
Figura 16 Curvas características prueba 8.....	44
Figura 17 Curvas características prueba 9.....	45
Figura 18 Curvas características prueba 10.....	46
Figura 19 Curvas características promedio.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos prueba 1	37
Tabla 2 Datos prueba 2	38
Tabla 3 Datos prueba 3	39
Tabla 4 Datos prueba 4	40
Tabla 5 Datos prueba 5	41
Tabla 6 Datos prueba 6	42
Tabla 7 Datos prueba 7	43
Tabla 8 Datos prueba 8	44
Tabla 9 Datos prueba 9	45
Tabla 10 Datos prueba 10	46
Tabla 11 Datos promedio.....	47

TABLA DE ANEXOS

- Anexo 1** Presiones atmosféricas de las capitales de Colombia ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 2** Ficha técnica del motor ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 3** Factores de conversión de unidades ¡Error! Marcador no definido.8

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: “OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA ALTERNATIVO EN UN BANCO DE PRUEBAS.”

AUTOR(ES): Rafael Andrés Zambrano Mantilla.

Christian Martin Nuñez Prada.

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica.

DIRECTOR(A): Javier Mauricio Castellanos Olarte.

RESUMEN

En este documento se presenta el desarrollo de un banco de potencia con motor de múltiples cilindros de combustión interna a gasolina, con una capacidad aproximada de 40HP, con el fin de producir energía para mover un dinamómetro o cualquier otro instrumento, realizar pruebas de desempeño, obtención de curvas características y/o cálculos de parámetros operacionales. Para desarrollar esta actividad, fue necesaria la adquisición de un motor comercial donde se tuvo en cuenta la potencia requerida y el tamaño, también los costos, además de la construcción de la base del banco.

PALABRAS CLAVES:

Banco de potencia, curvas características, dinamómetro, parámetros operacionales

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY

TITLE: “OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA ALTERNATIVO EN UN BANCO DE PRUEBAS.”

AUTHOR(S): Rafael Andrés Zambrano Mantilla.
Christian Martin Nuñez Prada.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica.

DIRECTOR: Javier Mauricio Castellanos Olarte.

ABSTRACT

This paper presents the development of a power bank with multiple cylinder gasoline internal combustion engines, with an approximate capacity of 40HP, in order to produce energy to move a dynamometer or any other instrument, performance testing, obtaining characteristic curves and / or operational parameters calculations. To develop this activity, it was necessary to purchase a commercial engine which took into account the required power and size, also cost and the construction of the base of the bank.

KEYWORDS:

Dyno (power bank), characteristic curves, dynamometer, operational parameters.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La razón principal que motivó la realización del proyecto “obtención de las curvas de desempeño de un motor de combustión interna alternativo en un banco de pruebas” fue darle más herramientas didácticas al laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad Pontificia Bolivariana con el fin de que los estudiantes puedan llevar a la práctica los conocimientos aprendidos durante las clases teóricas. Por medio de este banco de pruebas los estudiantes pueden reforzar y aclarar temas como torque, potencia, consumo específico del motor, velocidad angular (rpm), cámara de combustión, curvas características, frenos dinamométricos, parámetros operacionales entre otros. También los estudiantes podrán desarrollar la actividad basados en la normatividad impuesta por la SAE con el fin de que la experiencia a realizar sea lo más parecida a un estudio profesional, permitiéndoles a los estudiantes sacar conclusiones después de llevar a cabo un análisis de los resultados obtenidos.

En este trabajo se realizó el análisis y la construcción de las curvas características de un motor multicilíndrico de combustión interna alternativo con una capacidad aproximadamente de 40 HP, este motor fue acoplado a un dinamómetro hidráulico por medio del cual se puede calcular las curvas características de los motores basados en la norma SAE J 1349, SAE J 1995 y SAE J 2723 con el fin de darle mayor confiabilidad a los datos obtenidos en la práctica.

El objetivo general de este proyecto es desarrollar un banco de pruebas para un motor de combustión interna, con un motor de múltiples cilindros a gasolina con el objeto de realizar pruebas de desempeño, obtención de curvas características y/o cálculos de parámetros operacionales; de esta manera dotar al laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad Pontificia Bolivariana de mejores equipos para optimizar el desarrollo de las prácticas de los estudiantes de la asignatura motores de combustión interna.

Los objetivos específicos son:

- Realizar consultas bibliográficas de los principios básicos sobre el funcionamiento de los bancos de potencia, así como las normas técnicas que rigen las pruebas de los mismos para la obtención de los parámetros operacionales tales como curvas características, entre otros.
- Determinar las alternativas viables para la selección del motor de combustión interna adecuado, teniendo en cuenta diversos factores tales como la facilidad operacional para los estudiantes, la accesibilidad económica y los demás sistemas o elementos requeridos para el buen desempeño del equipo para el posterior diseño conceptual del montaje del motor en el banco.
- Realizar la construcción del soporte o base principal, para el posterior montaje del motor de combustión interna y de los demás sistemas necesarios, utilizando procesos de fabricación y herramientas adecuadas, teniendo en cuenta las recomendaciones y la información consultada con anterioridad.
- Realizar pruebas de funcionamiento del motor con el banco de potencia que se va a construir con el objetivo de comparar la curva característica obtenida experimentalmente, con una curva suministrada por el fabricante del motor. Se realizara un afiche o cartelera en la cual quedara plasmada la curva obtenida en esta práctica con el fin de que los estudiantes del laboratorio de motores de combustión interna puedan realizar esta misma curva en la práctica del laboratorio.

MARCO TEÓRICO

Para la obtención de las curvas características de los motores es necesario contar con un banco de pruebas que opone una resistencia controlada al giro a diferentes estados de carga. La herramienta que permite controlar dicha resistencia es conocida como freno dinamométrico, también conocidos como dinamómetros.

Los frenos dinamométricos que pueden reproducir cualquier estado de carga, a cualquier régimen, de forma precisa y estabilizada, se conocen como dinamómetros de potencia estacionarios. Un ejemplo de un banco de motor se puede ver en la figura 1. Existen otros tipos de dinamómetros llamados inerciales, cuyo principio de funcionamiento se basa en evaluar en tiempo real, la energía que entrega el motor para acelerar una masa de inercia. Este procedimiento, no permite ensayos estacionarios, porque solo funciona en fases de aceleración o deceleración. Esta tecnología suele aplicarse a bancos de rodillos, pero no a bancos de motor. [1] Un ejemplo de un banco de rodillos se puede ver en la figura 2.



FIGURA 1 EJEMPLO BANCO DE MOTOR [8].



FIGURA 2 EJEMPLO BANCO DE RODILLOS [9].

1.1 TIPOS DE ENSAYOS EN BANCOS DE PRUEBAS

Los ensayos pueden ser muy diferentes en función de la finalidad del motor y de su etapa de desarrollo. Los tipos de ensayos más importantes son: de investigación, de producción, de homologación y de recepción. Esta clasificación es dada por David Gonzales Calleja, autor del libro Motores. Él cual dice en su libro que los ensayos de homologación se le realizan a los motores nuevos antes de su comercialización con el fin de verificar que las características técnicas correspondan realmente a su comportamiento. Este tipo de ensayo debe realizarse siguiendo alguna norma internacional, como por ejemplo la DIN, SAE, ISO entre otras las cuales establecen las condiciones del ensayo y los parámetros característicos a medir. A pesar de que el motor empleado en esta prueba no es nuevo y ya fue comercializado se realizara la prueba basándose en la norma SAE con el fin de tener resultados que sean respaldados por una norma internacional.

A su vez, las pruebas a realizar en los ensayos pueden ser: de potencia, de emisiones contaminantes, de fiabilidad y de ruidos y vibraciones. Para este caso se va a emplear la prueba de potencia la cual define David Gonzales Calleja como una prueba que busca medir la presión media efectiva del motor, el par, la potencia y el consumo específico del combustible. De estos cuatro parámetros mencionados nosotros vamos a medir la potencia y de ella se obtendrá el par y el consumo específico de combustible [2].

1.2 PARÁMETROS FUNDAMENTALES

Las curvas características son las encargadas de definir el comportamiento de los vehículos o de los motores. Para poder definir los comportamientos del motor es necesario obtener tres curvas: curva de potencia del motor, curva de par del motor y curva de consumo específico del motor. Y para esto es importante tener en cuenta el cálculo de unos parámetros fundamentales a saber el par, la potencia y el consumo específico de combustible.

El perfil de la curva de potencia muestra que en los motores alternativos, a medida que aumenta el régimen de giro incrementa la potencia al freno de forma prácticamente lineal, lo que ocurre hasta llegar a un valor de velocidad angular del cigüeñal en el que por seguridad para el motor, actúa el regulador disminuyendo de forma automática la entrada de combustible. A partir de dicho régimen la potencia disminuye hasta llegar a un valor que considerando el alto régimen de giro es muy bajo [3].

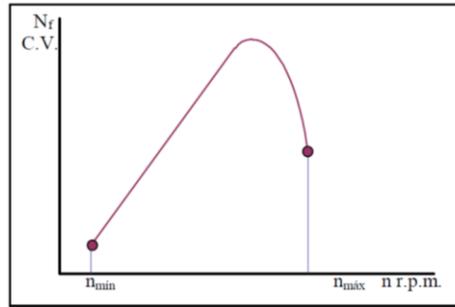


FIGURA 3 EJEMPLO CURVA DE POTENCIA [3]

La potencia se define como trabajo W realizado por unidad de tiempo t .

$$P = \frac{W}{t}$$

Donde:

P es la potencia, en vatios (W).

W es el trabajo, en julios (J).

T es el tiempo, en segundos (s).

Se puede observar que, $1J = 1 N*m$, se puede emplear el valor del par motor, también expresado en $N*m$, para calcular la potencia que está desarrollando el motor a un determinado régimen de giro. Se recomienda convertir la frecuencia de giro, normalmente las rpm, a unidades de frecuencia angular, para obtener el tiempo que tarda en desarrollar el trabajo debido al par generado. Con lo cual, la formula general para calcular la potencia en máquinas rotativas es:

$$P = M * \omega$$

Donde:

P es la potencia, en watts (W).

M es el par motor, en $N*m$.

ω es la frecuencia angular, en radianes por segundo ($\frac{rad}{s}$).

La potencia obtenida a partir del freno dinamométrico del banco de pruebas se conoce como potencia efectiva del motor (P_e) a un determinado régimen y carga del motor, siendo la potencia útil disponible en el cigüeñal [2]. Para ver un ejemplo de esta potencia se puede observar la figura 3.

La potencia efectiva de todo motor, deberá llevar indicación de la norma que ha sido utilizada, pues de lo contrario no sería representativa de la potencia real del motor.

1.3 NORMATIVIDAD EMPLEADA EN EL CÁLCULO DE LA POTENCIA

Un ejemplo de cómo se debe indicar la norma es: 50 kW SAE, DIN etc., Es preciso recalcar la importancia de esta indicación, considerando que aproximadamente 7,5 kW/DIN equivalen a 10 kW/SAE, siendo los primeros los que el motor va a proporcionar realmente en su trabajo [4].

- Norma SAE (Society of Automotives Engineers - U.S.A.)

De acuerdo con estas normas, se ensaya el motor prescindiendo de los accesorios propios del mismo, tales como alternador, ventilador, bomba de agua, etc., que evidentemente consumirán una cierta potencia en el caso de haberse montado en el motor.

Se realizan los ensayos a 20 °C y se ajustan en cada régimen los reglajes de encendido y carburación o inyección a su posición óptima.

Es esta, por tanto, la medida más favorable de su potencia, razón por la que es muy usada en el campo comercial.

- Norma D.I.N. (Deutsche Industrie Normen – Alemania)

Esta norma permite realizar la prueba en condiciones reales de funcionamiento del motor en un vehículo ya que se realiza directamente al carro con todo el equipo que exige su funcionamiento normal. Esta Potencia es, por tanto, la que mejor expresa el funcionamiento del motor en la realidad.

- Norma C.U.N.A. (Comisione Technica de Unificación dell Automobile - Italia)

Estas normas son iguales a las SAE, salvo en lo que afecta a los reglajes de encendido y carburación que debe ser igual al de los motores en serie. La temperatura ambiente se reduce a 15 °C.

La curva de par motor se encuentra dividida en dos partes, la zona de funcionamiento no flexible y la de funcionamiento flexible. Ambas están limitadas por un valor del régimen de giro del motor que corresponde a la máxima capacidad de trabajo o máximo par. Como se ve en la figura 4.

Entre dicho régimen de giro y el de máxima velocidad angular, cualquier valor de velocidad de giro se caracteriza porque existe lo que se denomina reserva de par, esto es, si en un instante al motor se le solicita más trabajo (par) del que va ofreciendo, como su respuesta inmediata es bajar sus revoluciones, al haber reserva de par, si esta reserva es suficiente como para absorber la solicitud hecha al motor, este, sin ninguna actuación externa, sin mover el acelerador, se adapta a las nuevas condiciones de trabajo. Si la reserva de par no es suficiente el motor se pararía, al ser incapaz de adaptarse a las nuevas condiciones de trabajo.

En la zona de funcionamiento no flexible, al no haber reserva de par, cualquier solicitud de más energía cuando el motor trabaja a un determinado régimen de giro, va acompañada indefectiblemente del calado del motor [3].

El par efectivo del motor en función del régimen de giro es uno de los parámetros más importantes ya que con él se genera la curva de potencia efectiva. El par, en general, se define como el producto de una fuerza F que actúa perpendicularmente sobre un objeto que puede girar alrededor de un eje de giro que está a una distancia d [2].

$$M = F * d$$

Donde:

M es el par, en N*m.

F es la fuerza, en N.

d es la distancia al eje de giro, en m.

Es evidente que el par motor variara en función de las revoluciones ya que no siempre el llenado del cilindro es el óptimo y tampoco lo es la manera de producirse la combustión.

Una de las maneras de medir el par motor es a través de un elemento que absorbe y a su vez disipa la potencia entregada por el motor. Normalmente se utilizan frenos dinamométricos, cuyo objetivo es para cada régimen de motor y fijado un nivel de carga, frenar el embalamiento del motor de forma que el par suministrado por el motor es igual al par de frenado aplicado por el freno, estando el sistema en equilibrio y permaneciendo la velocidad de giro constante. De esta manera, conociendo el par de frenado, se conoce el par entregado por el motor en esas condiciones.

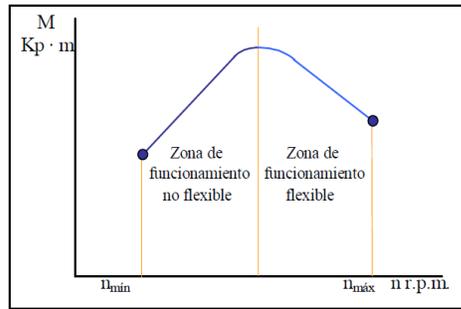


FIGURA 4 EJEMPLO CURVA DE TORQUE [3].

El consumo específico es el gasto másico de combustible que tiene el motor en determinadas condiciones de funcionamiento por cada kilowatt (kW) de potencia entregado y por cada hora de funcionamiento [2].

$$\text{consumo específico} = C_e = \frac{\dot{m}f}{P_e}$$

Donde:

C_e es el consumo específico, en $\frac{g}{KWh}$ o $\frac{Kg}{KWh}$

$\dot{m}f$ es la masa de combustible consumida por unidad de tiempo, en $\frac{g}{h}$ o $\frac{Kg}{h}$

P_e es la potencia efectiva, en kilowatt.

El cálculo de consumo específico de combustible se realiza en un banco de pruebas, donde la potencia a un determinado régimen de giro y nivel de carga se calcula de la forma descrita anteriormente y el consumo horario de combustible se calcula a través de dos posibles métodos [2]:

- Método volumétrico: consiste en medir el tiempo necesario para consumir un volumen conocido de combustible. Para ello es necesaria una probeta graduada en paralelo con el depósito de combustible y reloj. Esto es posible

realizarlo tanto mecánica como electrónicamente. El problema que presenta este tipo de medidores es que para conocer el consumo es necesario multiplicar el volumen por la densidad, siendo esta función de la temperatura y variable entre diferentes muestras de combustible utilizado. Es por este motivo por lo que este tipo de ensayos se utiliza en bancos donde no es necesaria la precisión de la medida.

- Método gravimétrico: este método es utilizado para ensayos de certificación o cuando el banco de pruebas está destinado a la investigación y desarrollo del motor. Consiste en medir el tiempo empleado en consumir una masa conocida de combustible existente en una balanza de precisión. Hay medidores que realizan el pesado del combustible y la determinación del tiempo que tarda en consumirse el mismo. Con este método, la medida no se ve afectada por las variaciones de temperatura del combustible, que provocan también variaciones en su densidad. Actualmente existen medidores que operan en continuo, indicando el caudal másico instantáneo, y se llaman medidores gravimétricos dinámicos.

Si se toma el método volumétrico, el cálculo del consumo horario de combustible se realiza aplicando la siguiente fórmula [2]:

$$\dot{m}f = \frac{V}{t} * \rho c$$

Donde:

$\dot{m}f$ es la masa de combustible por unidad de tiempo, en $\frac{g}{h}$.

V es el volumen de la probeta, en l.

t es el tiempo que tarda en vaciarse la probeta, en h.

ρc es la densidad del combustible, en $\frac{g}{cm^3}$

De esta manera, la expresión del consumo específico de combustible queda de la siguiente forma:

$$C_e = \frac{\dot{m}f}{P_e} = \frac{\frac{V}{t} * \rho c}{P_e}$$

Donde

P_e es la potencia efectiva, en kilowatt.

En la figura 5 se puede observar un ejemplo de una curva de consumo específico dada por los fabricantes de un motor de combustión interna alternativo.

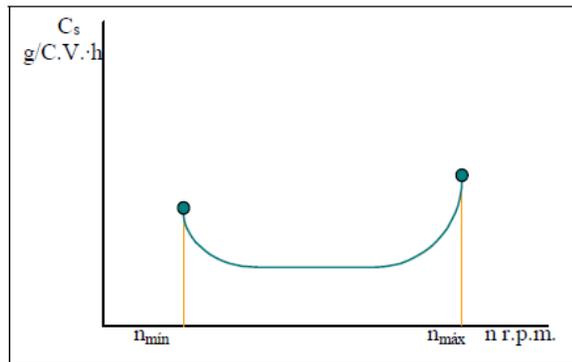


FIGURA 5 EJEMPLO CURVA DE CONSUMO ESPECIFICO [3].

Para poder realizar de manera correcta el cálculo de las curvas características de los motores es necesario cumplir con unas condiciones externas, las cuales son: la temperatura y la presión del ambiente por esta razón se crean los factores de corrección los cuales van a permitir que las condiciones atmosféricas sean las mismas en cualquier parte del mundo.

Las prestaciones de un motor pueden variar en función de las condiciones ambientales del lugar donde se realiza la prueba. La presión atmosférica y la temperatura influyen en el rendimiento volumétrico y, por tanto, toda prueba ha de ser referenciada en unas mismas condiciones atmosféricas. De tal forma que se puedan comparar los datos de pruebas realizadas en diferentes lugares geográficos.

Las condiciones atmosféricas de referencia según la SAE son [5]:

$$T = 293 \text{ K (20°C)}$$

$$Pa = 760 \text{ mmHg (milímetros de mercurio)}$$

Siempre que estas condiciones sean diferentes a las de referencia será necesario calcular el factor de corrección mediante la siguiente expresión.

$$Ka = \frac{760}{Pa} * \left(\frac{Ta (K)}{293} \right)^{0.5}$$

Donde:

Ka es el factor de corrección, es un número adimensional.

Pa es la presión atmosférica, en mmHg (milímetros de mercurio).

Ta es la temperatura ambiente media, en K (grados Kelvin).

Los valores corregidos de par, potencia y consumo específico en las condiciones estándar se determinan por las siguientes expresiones:

$$\text{Par} = M * Ka \quad \text{Potencia} = P * Ka \quad \text{Consumo específico} = \frac{Ce}{Ka}$$

1.4 EXPLICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS

Las curvas características se encuentran entre dos límites los cuales son impuestos por las revoluciones del motor. El mínimo es cuando el motor llega al punto conocido como ralentí el cual es el punto de revoluciones mínimas permitidas por el motor antes de apagarse, el punto máximo está limitado por fallas mecánicas ya que si se llega a exceder de este punto se pueden generar daños internos al motor.

La curva de potencia tiene un crecimiento progresivo que es casi constante hasta alcanzar un punto máximo en donde se encuentra ubicada la potencia máxima. Después decrece rápidamente hasta llegar al máximo de revoluciones permitidas por el motor. Esta caída de la curva es debido a la disminución del rendimiento volumétrico del motor. Entonces se puede decir que el punto de potencia máxima se encuentra a un régimen de giro antes que el máximo permitido por el motor.

Se puede decir que si la curvatura entre el límite mínimo de utilización y el régimen de potencia máxima es abierta, el funcionamiento del motor es más elástico.

La curva del par motor tiene un comportamiento llano en la parte superior si se compara con la curva de la potencia. La curva del par crece cuando el régimen de giro aumenta este crecimiento se detiene cuando el motor alcanza un régimen de giro medio y es en esta zona donde se obtiene el par máximo, después de este punto la curva comienza a descender hasta llegar al máximo de revoluciones permitidas por el motor. Es importante aclarar que la caída de esta curva no es tan rápida como la otra por lo que el resultado de la gráfica es semejante al de una campana. Puede decirse que un motor es más elástico si el intervalo entre el régimen de par máximo y el de potencia máxima es más abierto.

La curva de consumo específico presenta un comportamiento similar al del par solo que en esta ocasión es inverso. A revoluciones mínimas tiene un consumo elevado pero al aumentar el régimen de giro la gráfica comienza a descender hasta llegar al punto donde se encuentra el par máximo después de este punto la gráfica crece rápidamente hasta llegar al punto de revoluciones permitidas donde el consumo es mucho mayor al que presenta cuando está en el régimen de giro mínimo.

Es importante comprender que la eficiencia volumétrica juega un papel muy significativo a la hora de hablar de potencia, cuando se habla de potencia es trascendental saber la capacidad que tiene el motor para quemar el combustible por cada ciclo realizado. Por consiguiente se debe entender que para quemar el combustible en un motor a gasolina alternativo el oxígeno es un elemento fundamental en este proceso luego entre más masa de aire entre al sistema mayor será el rendimiento volumétrico y de esta manera se podrá obtener mayor potencia. Por otra parte es característico comprender que la masa de aire es afectada por muchos medios externos como lo es la temperatura, la presión y la humedad haciendo que las propiedades del aire cambien según las condiciones externas, es por eso que la potencia se ve afectada directamente por estos agentes, uno de ellos son los gases residuales los cuales no permiten que las paredes de la cámara de combustión se enfríen haciendo que los gases se expandan impidiendo la entrada de masa de aire y por consiguiente afectando la combustión.

Por último se debe recordar la siguiente relación: A mayor temperatura atmosférica o menor presión, el aire es menos denso, afectando el rendimiento volumétrico. Por el contrario, a mayor presión y menor temperatura la masa de aire será más densa y contendrá más oxígeno, lo cual dará mayor rendimiento volumétrico permitiendo generar más potencia.

2 MONTAJE, CONFIGURACIÓN Y DESARROLLO DEL BANCO DE PRUEBAS

Un banco de ensayos mide determinados parámetros del motor en función de su régimen de giro. Para ello es necesario un freno dinamométrico que pueda generar un par resistente que proporcione una carga al motor. Esta carga ha de poder ser variable a fin de ensayar el motor en cualquier condición de funcionamiento. Los bancos de pruebas constan de los siguientes elementos básicos, representados en la figura 6 [2]:

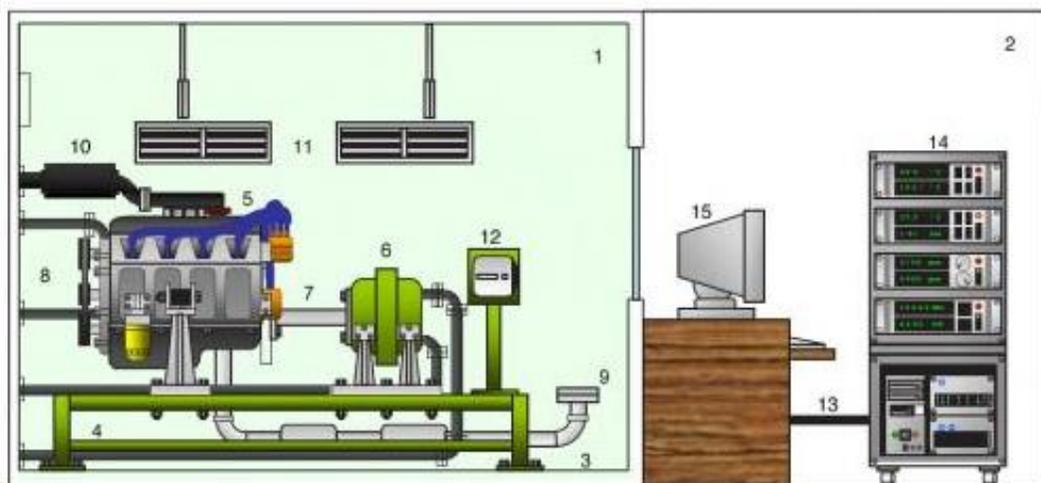


FIGURA 6 ELEMENTOS DE UN BANCO DE ENSAYOS [2]

- Celda de ensayo (1): es la zona donde se ubica el motor, el freno y toda la instrumentación necesaria para su ensayo.
- Sala de control (2): para poder controlar las pruebas sobre el motor son necesarios equipos que monitoricen los parámetros de funcionamiento. En los bancos más modernos, a través de un ordenador se puede programar las pruebas a realizar y simular condiciones de funcionamiento: rampas de aceleración, funcionamiento ciclo bajo ciertas condiciones, tiempos de rodaje...

- Cimentación (3): sobre la cual se instala el banco y ha de absorber las vibraciones y esfuerzos que se generan cuando el motor está en funcionamiento y a su vez se le somete a carga a través del freno.
- Bancada (4): tiene que soportar el motor, el freno, los elementos auxiliares del motor y la instrumentación. La unión entre la bancada y el resto de elementos se realiza por medio de diversos soportes.
- Motor de ensayo (5): se instala sobre la bancada y a él se le montan todos sus sistemas auxiliares.
- Freno dinamométrico (6): es el encargado de absorber la potencia del motor y a su vez someterlo a carga. Lleva incorporado un dispositivo que mide el par motor. En el caso de algunos frenos eléctricos, pueden funcionar también como motores, pudiendo hacer girar al motor sin encendido para medir las pérdidas mecánicas.
- Transmisión (7): es un sistema de acoplamiento entre el motor y el freno. Puede ser de muchos tipos: directa (unión volante motor-freno) o con algún sistema de acoplamiento (que funciona a modo de embrague). Cuando el freno y el motor no están alineados es necesario instalar una junta cardanica para compensar dicha desalineación.
- Redes de agua (8): es necesario un circuito para la refrigeración del motor y otro para la refrigeración del freno. Para controlar la temperatura del motor se dispone de un circuito cerrado de recirculación de agua. Para el caso de los frenos eléctricos existe otro circuito independiente para su refrigeración. El agua de estos circuitos es tratada para evitar la corrosión de los conductos y de los elementos a refrigerar.
- Sistema de aspiración de los gases de escape (9): es necesario para no llenar de gases tóxicos la celda de ensayos. A través de un sistema de aspiración y una manguera flexible se sacan los humos al exterior.
- Sistema de presurización de la admisión (10): en la mayoría de los bancos modernos se incorpora un sistema capaz de mantener una determinada presión de admisión. Esto se hace para poder comparar todos los motores

de todos los fabricantes en las mismas condiciones atmosféricas, con lo cual se simula que la presión de admisión es la que hay a nivel del mar, es decir, 1 atmósfera. Además, para la homologación de motores hay que cumplir una norma que establece las condiciones de presión y temperatura atmosféricas.

- Sistema de climatización (11): con el fin de cumplir la normativa de ensayos, es necesario mantener la celda a una temperatura establecida a través del sistema de climatización.
- Unidad de control del motor (12): necesaria para su funcionamiento y de la que se van a obtener diferentes parámetros.
- Sistema de comunicación con la sala de control (13): a través de diferentes cables que conectan la instrumentación, la unidad de control del motor, el control del freno...
- Rack de control (14): consisten en un bastidor metálico que soporta los sistemas que monitorizan los parámetros fundamentales del motor (par, potencia, régimen de giro, presión, temperatura,...).
- Equipo informático (15): permite programar las pruebas y registrar los datos obtenidos.

Además de los bancos de ensayo de motores existen otros que permiten ensayar el vehículo en su conjunto, llamados bancos de rodillos. Estos bancos producen las condiciones de marcha del vehículo en carretera sin riesgos y de forma objetiva e independiente de factores externos (condiciones atmosféricas, estado de la carretera,...).

De todos los elementos mencionados anteriormente el banco de pruebas con el que va a contar la Universidad Pontificia Bolivariana son: bancada, motor de ensayo, freno dinamométrico, transmisión, no tiene redes de agua pero si cuenta con una red de refrigeración, se cuenta con una plantilla de Excel con el fin de editar los datos y obtener de inmediato las curvas características del motor que está a prueba, no contiene celda ya que la prueba se realiza al aire libre, no posee

sistema de climatización y de presurización de la admisión es por esta razón que es necesario calcular el factor de corrección para cada prueba con el fin de tener la presión y la temperatura correcta para cada prueba y por ultimo no se tiene equipos informáticos por lo cual no se pueden programar las pruebas desde ningún equipo electrónico por lo cual es necesario realizar todo de manera manual.

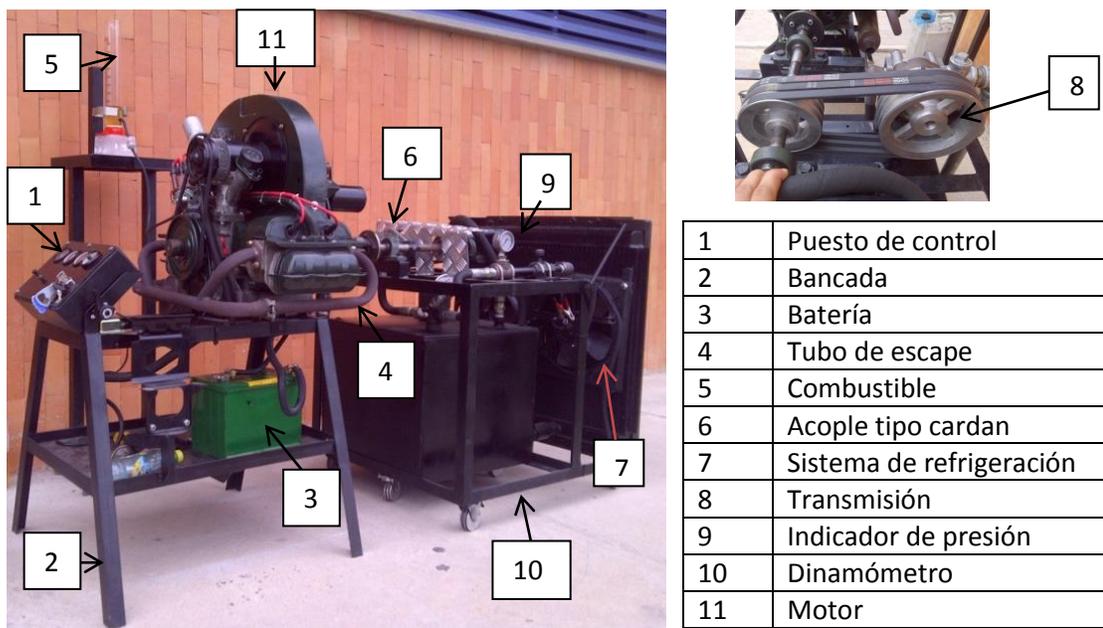


Figura 7 BANCO DE PRUEBAS

FUENTE: Autores del proyecto 2013

Este banco de pruebas (figura 7) es la unión de dos grandes elementos, por un lado se encuentra un motor multicilindrico de combustión interna alternativo marca Volkswagen modelo 69 el cual cuenta con algunas modificaciones mecánicas haciendo de esta manera que los datos entregados por el fabricante no sean datos confiables, este motor está desarrollando aproximadamente 18 caballos de fuerza este valor se obtuvo realizando las pruebas de curvas características de dicho

motor. Por otra parte el sistema cuenta con un dinamómetro hidráulico el cual está diseñado para aplicar una fuerza de restricción a motores de combustión interna con una potencia menor a los 65 caballos de fuerza. Estos dos equipos están unidos por un acople mecánico tipo cardan con el fin de permitir la desalineación de los ejes, también para que la vibración producida por el motor y las diferentes piezas mecánicas no afecten el funcionamiento del banco de pruebas ya que como el motor no está anclado a una base de cimentación él va a tener movimiento causado por su vibración.

Para poder realizar las pruebas fue necesario modificar la transmisión del diseño original del dinamómetro el cual contaba con un juego de polea doble, tipo B, con una relación de 1.5:1, las dos correas que complementaban el sistema eran bandas en "V" con una longitud máxima de veintinueve pulgadas. Este juego de poleas se cambió por uno de poleas triple, también tipo B pero con una relación de 1.33:1, esta relación se modificó ya que la que tenía anteriormente no permitían que la prueba se desarrollara de manera correcta, por lo que fue necesario cambiar los diámetros de los poleas para aumentar el área de contacto y de esta manera hacer que el frenado sea más efectivo, también la distancia entre ejes se cambió por lo que fue necesario cambiar la longitud de la correa que paso de ser de 29 pulgadas a una de 42 pulgadas.

Con la unión de estos dos equipos se crea lo que se conoce como banco de pruebas con el cual se logra calcular las curvas características y algunos parámetros fundamentales.

3 OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

Para la obtención de las curvas características se van a realizar 10 pruebas cada una con una duración aproximada de 2 minutos por prueba, hay que aclarar que entre una prueba y otra hay unos 2 minutos más para dar inicio con la siguiente tomada de datos ya que se debe reabastecer el combustible si es necesario, también es importante mirar la posición del banco de pruebas con el fin de evitar fallas mecánicas, entre otros. Se van a realizar 8 mediciones por prueba las cuales inician en 3400 RPM y van descendiendo cada 400 RPM hasta llegar a la potencia y al torque máximo, al alcanzar este punto si el motor no logra estabilizarse con facilidad impidiendo que se realice la toma de datos de manera correcta el parámetro debe reducirse a 100 RPM hasta lograr llegar a las 800 RPM que es el punto donde el motor se apaga, esto se debe ejecutar de esta manera ya que esta toma de datos esta respaldada por la norma SAE J1349 y esos son los puntos de operación que da esta norma. El equipo cuenta con un tacómetro análogo que permite tomar la medida del régimen de giro, adicional a esto el dinamómetro cuenta con un manómetro el cual permite tomar el dato de la presión en PSI en cada régimen de giro del motor, externo al equipo se cuenta con un cronometro que ayuda a tomar el tiempo en consumir una cantidad de combustible esta cantidad se recomienda que sean 100 cm³ pero no necesariamente tiene que ser esa cantidad, esta medida puede modificarse dependiendo de las condiciones del banco de pruebas lo que sí es importante y obligatorio para que la prueba se realice con éxito es que la cantidad de combustible debe ser la misma en toda la prueba. Con una termocupla se debe medir la temperatura del ambiente y dirigiéndose al anexo 1 que se encuentra al final de este documento se obtiene la presión atmosférica en milímetros de mercurio (mmHg) esto dos valores son de suma importancia ya que gracias a ellos se calcula el factor de corrección el cual esta impuesto por la norma DIN y SAE con el fin de que la prueba se pueda realizar en cualquier parte del mundo dando los mismos resultados.

Teniendo estos datos dados por el banco de pruebas se puede llevar a cabo una serie de cálculos con el fin de obtener los parámetros fundamentales como lo son: potencia, par, consumo específico, régimen de giro de la bomba y caudal.

Para esto se deben realizar una serie de pasos:

1. Se calcula el régimen de giro de la bomba, esto se puede hacer ya que se conoce la relación que hay en la transmisión que en este caso es de 1.33 y como se conoce el régimen de giro del motor entonces se puede calcular el de la bomba con facilidad.
2. Se calcula el caudal con la siguiente formula [6]:

$$Q = 0.0152 * \omega_{bomba}$$

Es importante saber que el régimen de giro de la bomba debe estar en RPM para que el valor del caudal quede en GPM.

3. Se calcula la potencia la cual estará dada en caballos de fuerza (HP) utilizando la siguiente formula [6]:

$$Pot = \frac{presion * caudal}{1714}$$

La presión está dada en PSI y el caudal que se utiliza es el calculado en el paso anterior.

4. Se debe pasar la potencia calculada anteriormente de caballos de fuerza (HP) a watts (W).
5. El régimen de giro que está dado en RPM se debe pasar a rad/s
6. Para calcular el par es necesario despejar la ecuación [2]:

$$Pot = Torque * \omega_{motor}$$

Teniendo la potencia en vatios y el régimen de giro en rad/s el torque calculado queda en Newton-metro (N-m).

7. Pasar la potencia de watts a kilowatts.
8. El consumo específico se calcula con la siguiente fórmula [2]:

$$C_e = \frac{273600}{\text{tiempo} * \text{potencia}}$$

Para esta ecuación el tiempo debe estar dado en segundos y la potencia en kilowatts.

9. Mirar en el marco teórico como calcular el factor de corrección.
10. Multiplicar la potencia y el par por el factor de corrección y el consumo específico se debe dividir en el factor de corrección.
11. Teniendo los valores para cada régimen de giro se puede construir la gráfica de potencia, par y consumo específico, cada uno de ellos previamente corregidos en el punto anterior.

Para evitar el cálculo manual se puede realizar una plantilla en Excel con el fin de que solo se introduzcan los datos, el programa realiza los cálculos y en simultáneo efectúa la gráfica. Esta es la manera más sencilla y rápida de ejecutar el procedimiento.

Nota [7]: Es recomendable medir varias veces porque así se puede reducir el riesgo de cometer un error en la toma de mediciones, además de revisar la medición por segunda o tercera vez antes de proseguir.

Midiendo varias veces, es posible reducir el riesgo de cometer un error en la toma de la medición, por esta razón, lo ideal es repetir todas las mediciones, por lo menos tres veces, porque cuando se efectúa solamente una medición, puede implicar que el error podría pasar completamente inadvertido.

En términos generales, entre más mediciones utilice, mejor el estimado que obtendrá. Lo ideal sería encontrar el valor medio a partir de un conjunto infinito de valores. Entre más resultados use, más cerca estará del estimado ideal del valor medio. Pero realizar más mediciones exige esfuerzos adicionales de los equipos

mecánicos, genera aumento de costos y requiere de mayor tiempo para realizar la prueba.

La mejor cantidad de datos a tomar es un valor superior a los diez datos. Diez es una elección popular porque facilita la aritmética. Usar veinte daría un estimado ligeramente mejor que diez. Usar cincuenta sería solo ligeramente mejor que veinte. Usualmente, es suficiente como método práctico entre cuatro y diez lecturas. Es por esta razón que para este proyecto se tomarán diez pruebas.

A continuación se podrá observar cada una de las tablas de datos (tabla 1 a la tabla 10) y las respectivas gráficas de cada prueba (figura 9 a la figura 18), al final de las diez pruebas se encontrara en la tabla 11 los datos promedios de todas las pruebas y las tres gráficas que resultaron de dicho promedio (figura 19). Después de esto se encontrara el análisis al resultado final, es decir, a las gráficas obtenidas en la tabla llamada promedio, ya que de esta tabla se forman las gráficas que son el resultado final de la prueba.

En todas las tablas se observara que la primera celda del consumo específico (C_e) y consumo específico corregido (C_{ecorr}) aparece la siguiente expresión #! DIV/0! esto se debe a que el tiempo expresado en segundos de la toma de datos número ocho es cero esto se debe a que en ese momento es cuando el motor es apagado automáticamente por la fuerza impuesta por el dinamómetro, por tal razón la plantilla creada en Excel marca #! DIV/0! queriendo decir que hay un número dividido en cero o en una celda vacía. A continuación en la figura 8 se puede confirmar lo dicho anteriormente.

Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
#! DIV/0!	3,79171828	45,2601	#! DIV/0!
2865,956484	5,5760563	53,24729085	2555,569607
1896,479907	9,75809852	66,5591135	La fórmula o función utilizada está dividiendo entre cero o entre celdas vacías.
1793,668076	12,2450196	64,96169483	1599,411452

FIGURA 8 DATO DIVIDIDO EN CERO, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 1

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	900	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,800800133	3579,956659	42,73248495	3,579956659	#¡DIV/0!	4,0283469	48,0847367	#¡DIV/0!
7	950	1000	104,72	751,8796992	22,84	11,4285714	6,334389065	4723,553926	45,1065119	4,723553926	2536,010899	5,31517994	50,756111	2253,730705
6	1200	1400	146,608	1052,631579	15,54	16	11,20186698	8353,232205	56,9766466	8,353232205	2107,70839	9,39947611	64,1129823	1873,102012
5	1200	1800	188,496	1353,383459	10,69	20,5714286	14,4024004	10739,86998	56,9766466	10,73986998	2383,084073	12,0850407	64,1129823	2117,825973
4	1050	2200	230,384	1654,135338	10,556	25,1428571	15,40256709	11485,69428	49,85456578	11,48569428	2256,625332	12,9242796	56,0988595	2005,443196
3	900	2600	272,272	1954,887218	10,225	29,7142857	15,60260043	11634,85914	42,73248495	11,63485914	2299,80835	13,0921274	48,0847367	2043,819566
2	650	3000	314,16	2255,639098	9,87	34,2857143	13,00216703	9695,715953	30,86235024	9,695715953	2859,032265	10,9101062	34,7278654	2540,796968
1	500	3400	356,048	2556,390977	10,98	38,8571429	11,33522254	8452,675446	23,74026942	8,452675446	2947,946239	9,51137463	26,7137426	2619,814039
Temperatura ambiente °C		24		Ce = Consumo específico										
Presion atm mmHg		680		El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml										
Factor de correccion [K]		1,125250188												

TABLA 1 DATOS PRUEBA 1, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

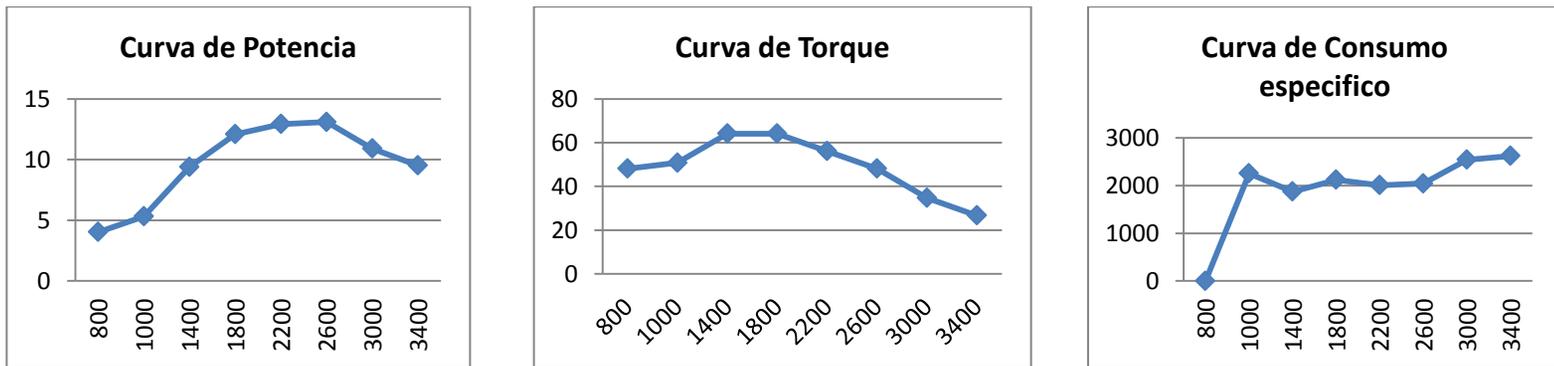


FIGURA 9 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 1, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 2

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	900	800	83,776	601,5	0	9,1428	4,800770128	3579,934285	42,73221788	3,579934285	#j DIV/0!	4,04186234	48,246065	#j DIV/0!
7	950	1000	104,72	751,9	19,69	11,42888	6,334560093	4723,681462	45,10772977	4,723681462	2941,6417	5,33319014	50,9280953	2605,453399
6	1180	1400	146,608	1052,6	15,23	15,99952	11,01483874	8213,765248	56,02535502	8,213765248	2187,1265	9,27360834	63,2544495	1937,168684
5	1200	1800	188,496	1353,4	10,43	20,57168	14,40257643	10740,00124	56,97734299	10,74000124	2442,45996	12,125811	64,329275	2163,321116
4	1100	2200	230,384	1654,1	9,14	25,14232	16,13567795	12032,37504	52,22747693	12,03237504	2487,81761	13,5849431	58,9665216	2203,495021
3	900	2600	272,272	1954,9	9,67	29,71448	15,60270245	11634,93522	42,73276436	11,63493522	2431,78766	13,1362206	48,246682	2153,868505
2	780	3000	314,16	2255,6	10,95	34,28512	15,60232999	11634,65747	37,03417836	11,63465747	2147,57516	13,135907	41,8127929	1902,137503
1	500	3400	356,048	2556,4	8,43	38,85728	11,33526254	8452,705279	23,74035321	8,452705279	3839,6602	9,54337941	26,8036316	3400,841003
Temperatura ambiente °C		26		Ce = Consumo específico										
Presion atm mmHg		680		El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml										
Factor de correccion [K]		1,129032552												

TABLA 2 DATOS PRUEBA 2, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

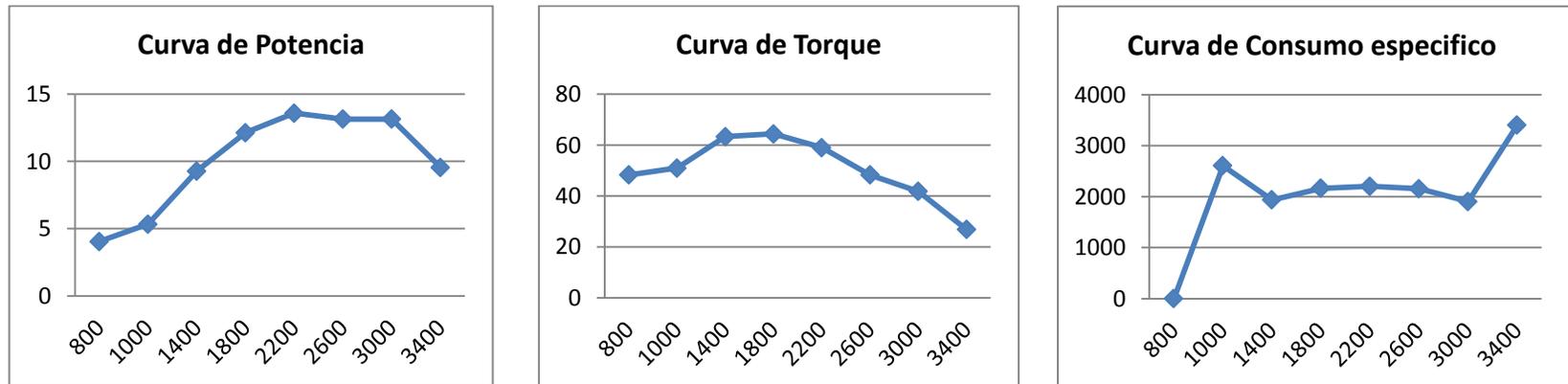


FIGURA 10 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 2, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 3

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	850	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,534089015	3381,070178	40,35845801	3,381070178	#j DIV/0!	3,79171828	45,26019722	#j DIV/0!
7	1000	1000	104,72	751,8796992	19,2	11,4285714	6,667777963	4972,162027	47,48053884	4,972162027	2865,956484	5,5760563	53,24729085	2555,569607
6	1250	1400	146,608	1052,631579	16,58	16	11,66861144	8701,283547	59,35067355	8,701283547	1896,479907	9,75809852	66,55911356	1691,088625
5	1220	1800	188,496	1353,383459	13,97	20,5714286	14,64244041	10918,86781	57,92625738	10,91886781	1793,668076	12,2450196	64,96169483	1599,411452
4	1050	2200	230,384	1654,135338	12,84	25,1428571	15,40256709	11485,69428	49,85456578	11,48569428	1855,213163	12,88069	55,90965539	1654,291124
3	950	2600	272,272	1954,887218	10,5	29,7142857	16,46941157	12281,24021	45,1065119	12,28124021	2121,702891	13,7728591	50,5849263	1891,919663
2	800	3000	314,16	2255,639098	8,95	34,2857143	16,00266711	11933,18886	37,98443107	11,93318886	2561,748812	13,3825351	42,59783268	2284,308029
1	500	3400	356,048	2556,390977	9,61	38,8571429	11,33522254	8452,675446	23,74026942	8,452675446	3368,204964	9,47929571	26,62364542	3003,423912
Temperatura ambiente °C		22		Ce = Consumo específico										
Presion atm mmHg		680		El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml										
Factor de correccion [K]		1,121455067												

TABLA 3 DATOS PRUEBA 3, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

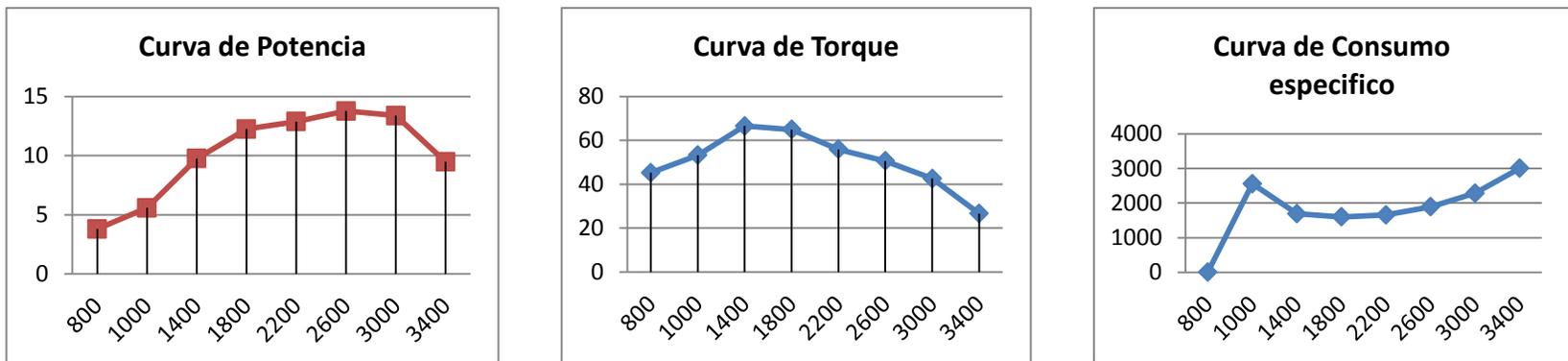


FIGURA 11 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 3, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 4

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	900	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,800800133	3579,956659	42,73248495	3,579956659	#j DIV/0!	4,02155946	48,0037177	#j DIV/0!
7	950	1000	104,72	751,8796992	24,54	11,4285714	6,334389065	4723,553926	45,1065119	4,723553926	2360,32962	5,30622428	50,6705909	2101,144554
6	1300	1400	146,608	1052,631579	15,26	16	12,13535589	9049,334889	61,72470049	9,049334889	1981,27564	10,1656086	69,3387034	1763,714048
5	1280	1800	188,496	1353,383459	12,63	20,5714286	15,36256043	11455,86131	60,77508971	11,45586131	1890,97155	12,8689903	68,2719541	1683,326151
4	1100	2200	230,384	1654,135338	11,15	25,1428571	16,13602267	12032,63211	52,22859272	12,03263211	2039,2975	13,5169082	58,6712106	1815,3646
3	900	2600	272,272	1954,887218	9,53	29,7142857	15,60260043	11634,85914	42,73248495	11,63485914	2467,52785	13,0700682	48,0037177	2196,571465
2	950	3000	314,16	2255,639098	8,55	34,2857143	19,00316719	14170,66178	45,1065119	14,17066178	2258,1867	15,9186728	50,6705909	2010,217831
1	500	3400	356,048	2556,390977	7,68	38,8571429	11,33522254	8452,675446	23,74026942	8,452675446	4214,64189	9,49534872	26,6687321	3751,836933
Temperatura ambiente °C		23	Ce = Consumo específico											
Presion atm mmHg		680	El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml											
Factor de correccion [K]		1,12335423												

TABLA 4 DATOS PRUEBA 4, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

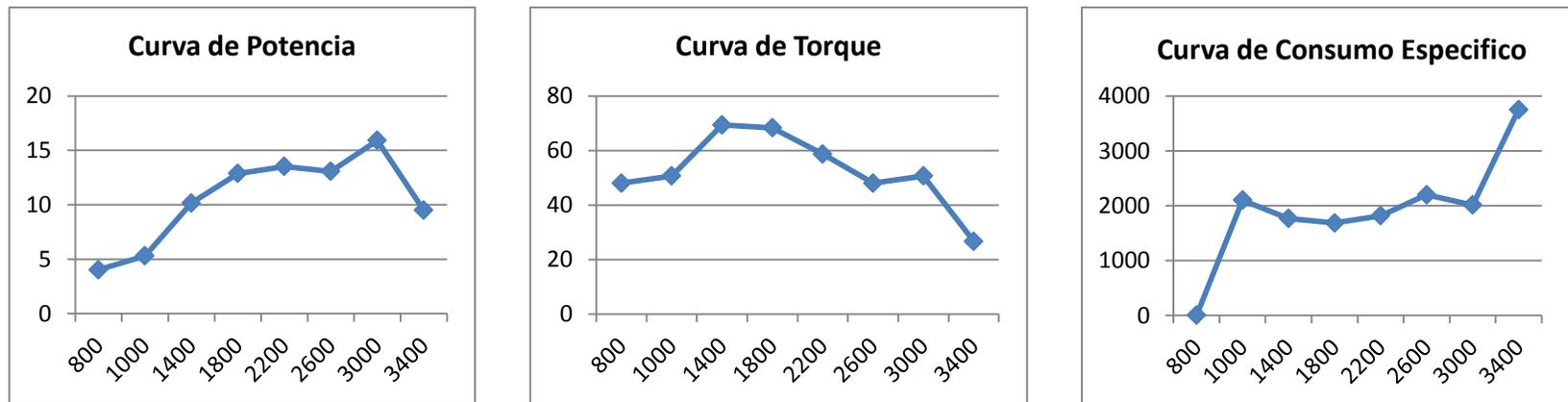


FIGURA 12 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 4, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 5

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]	
8	900	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,800800133	3579,956659	42,73248495	3,579956659	#j DIV/0!	4,02155946	48,0037177	#j DIV/0!	
7	950	1000	104,72	751,8796992	24,67	11,4285714	6,334389065	4723,553926	45,1065119	4,723553926	2347,891728	5,30622428	50,6705909	2090,072451	
6	1200	1400	146,608	1052,631579	15,46	16	11,20186698	8353,232205	56,9766466	8,353232205	2118,615031	9,38363873	64,004957	1885,972363	
5	1200	1800	188,496	1353,383459	12,71	20,5714286	14,4024004	10739,86998	56,9766466	10,73986998	2004,340578	12,0646784	64,004957	1784,246255	
4	1050	2200	230,384	1654,135338	10,38	25,1428571	15,40256709	11485,69428	49,85456578	11,48569428	2294,887958	12,9025033	56,0043373	2042,888964	
3	1000	2600	272,272	1954,887218	9,18	29,7142857	17,3362227	12927,62127	47,48053884	12,92762127	2305,445135	14,522298	53,3374641	2052,286869	
2	820	3000	314,16	2255,639098	8,91	34,2857143	16,40273379	12231,51859	38,93404185	12,23151859	2510,487188	13,7403281	43,7367206	2234,813491	
1	600	3400	356,048	2556,390977	8,18	38,8571429	13,60226704	10143,21054	28,4883233	10,14321054	3297,519326	11,3944185	32,0024785	2935,422539	
Temperatura ambiente °C		23													
Presion atm mmHg		680													
Factor de correccion [K]		1,12335423		Ce = Consumo especifico											
						El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml									

TABLA 5 DATOS PRUEBA 5, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

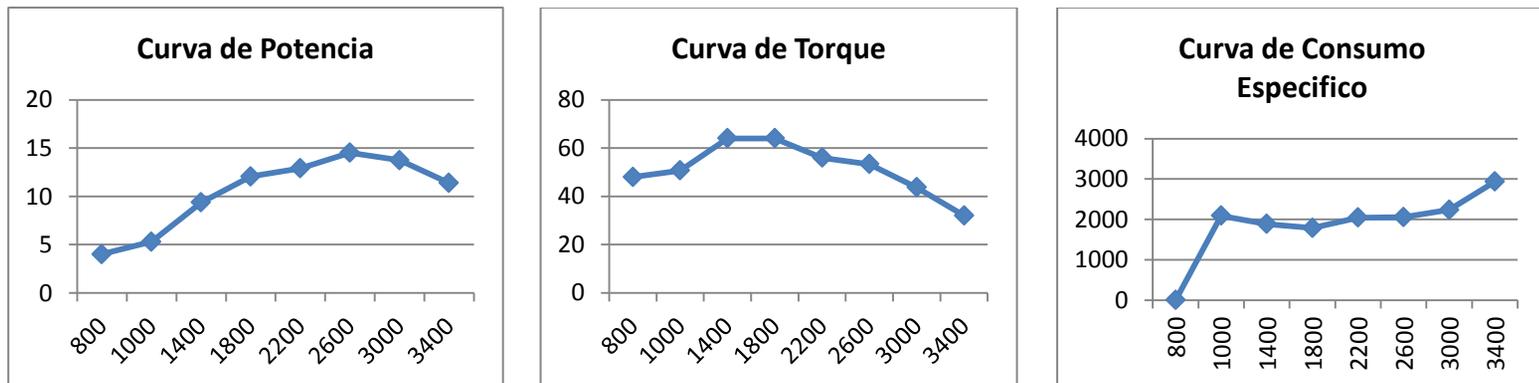


FIGURA 13 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 5, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 6

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	900	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,800800133	3579,956659	42,73248495	3,579956659	#¡DIV/0!	4,02155946	48,0037177	#¡DIV/0!
7	950	1000	104,72	751,8796992	29,19	11,4285714	6,334389065	4723,553926	45,1065119	4,723553926	1984,32645	5,30622428	50,6705909	1766,429851
6	1050	1400	146,608	1052,631579	15,84	16	9,801633606	7309,07818	49,85456578	7,30907818	2363,1882	8,21068389	56,0043373	2103,68923
5	1100	1800	188,496	1353,383459	13,89	20,5714286	13,20220037	9844,880813	52,22859272	9,844880813	2000,79864	11,0592885	58,6712106	1781,093258
4	1100	2200	230,384	1654,135338	11,27	25,1428571	16,13602267	12032,63211	52,22859272	12,03263211	2017,5836	13,5169082	58,6712106	1796,035074
3	900	2600	272,272	1954,887218	10,83	29,7142857	15,60260043	11634,85914	42,73248495	11,63485914	2171,33337	13,0700682	48,0037177	1932,90176
2	740	3000	314,16	2255,639098	9,92	34,2857143	14,80246708	11038,1997	35,13559874	11,0381997	2498,6543	12,3998083	39,4697235	2224,27996
1	600	3400	356,048	2556,390977	8,26	38,8571429	13,60226704	10143,21054	28,4883233	10,14321054	3265,58209	11,3944185	32,0024785	2906,992296
Temperatura ambiente °C		23												
Presion atm mmHg		680												
Factor de correccion [K]		1,12335423												
Ce = Consumo especifico					El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml									

TABLA 6 DATOS PRUEBA 6, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

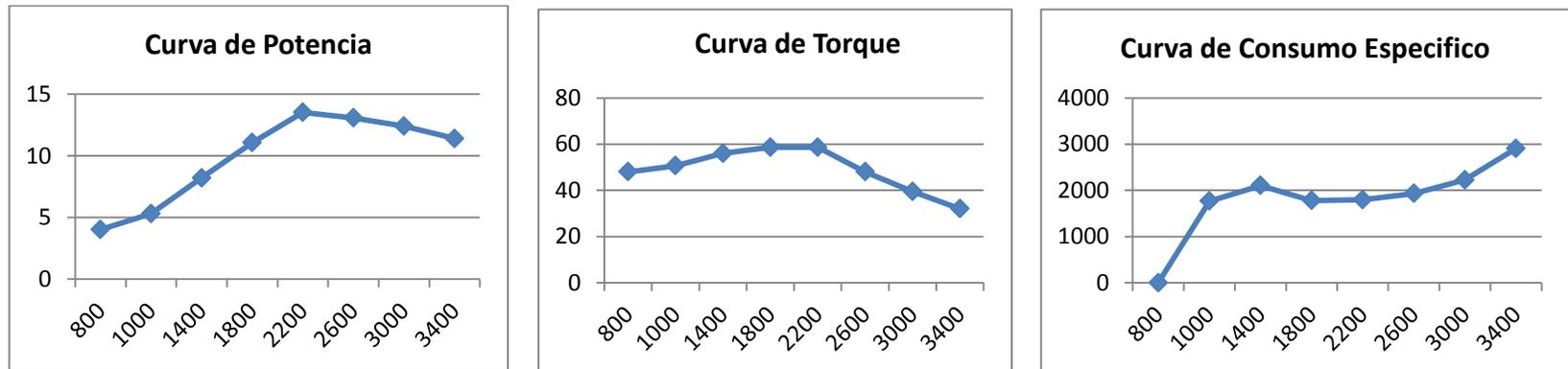


FIGURA 14 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 6, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 7

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [s]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	760	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,054009002	3023,074512	36,08520952	3,023074512	#¡DIV/0!	3,39598354	40,53647274	#¡DIV/0!
7	800	1000	104,72	751,8796992	25,45	11,4285714	5,33422237	3977,729622	37,98443107	3,977729622	2702,67016	4,4683994	42,66997131	2405,893074
6	1080	1400	146,608	1052,631579	17,99	16	10,08168028	7517,908985	51,27898194	7,517908985	2022,96266	8,44527486	57,60446127	1800,823466
5	1100	1800	188,496	1353,383459	13,13	20,5714286	13,20220037	9844,880813	52,22859272	9,844880813	2116,6103	11,0592885	58,67121055	1884,187765
4	1050	2200	230,384	1654,135338	10,74	25,1428571	15,40256709	11485,69428	49,85456578	11,48569428	2217,96434	12,9025033	56,00433734	1974,412239
3	910	2600	272,272	1954,887218	9,56	29,7142857	15,77596266	11764,13536	43,20729034	11,76413536	2432,75396	13,2152912	48,53709237	2165,616058
2	850	3000	314,16	2255,639098	8,69	34,2857143	17,00283381	12679,01317	40,35845801	12,67901317	2483,19522	14,2430231	45,33684452	2210,518423
1	600	3400	356,048	2556,390977	8,64	38,8571429	13,60226704	10143,21054	28,4883233	10,14321054	3121,95695	11,3944185	32,00247848	2779,138469
Temperatura ambiente °C		23												
Presion atm mmHg		680		Ce = Consumo especifico										
Factor de correccion [K]		1,12335423		El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml										

TABLA 7 DATOS PRUEBA 7, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

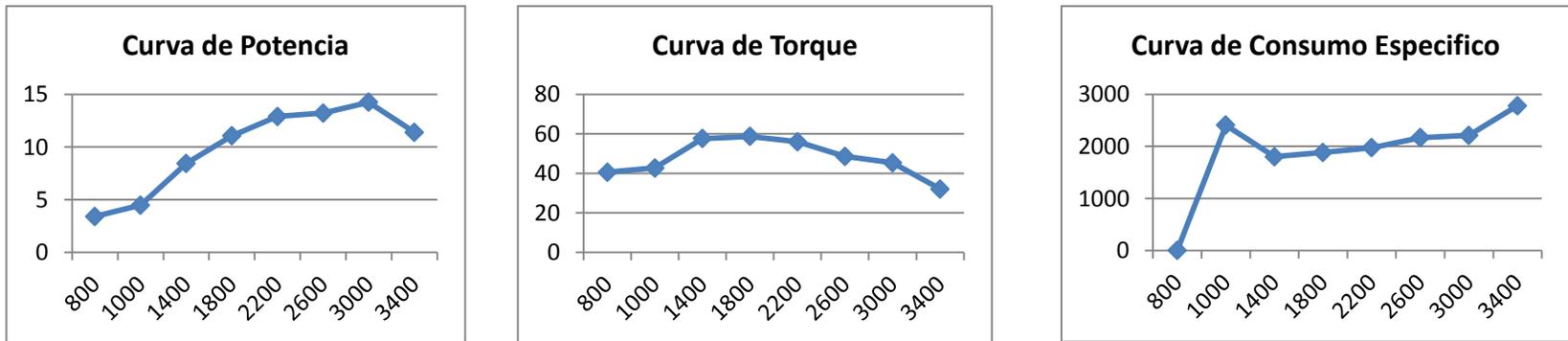


FIGURA 15 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 7, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 8

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	850	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,534089015	3381,070178	40,35845801	3,381070178	#j DIV/0!	3,79813949	45,3368445	#j DIV/0!
7	900	1000	104,72	751,8796992	27,34	11,4285714	6,001000167	4474,945824	42,73248495	4,474945824	2236,29865	5,02694932	48,0037177	1990,733276
6	1150	1400	146,608	1052,631579	16,36	16	10,73512252	8005,180863	54,60261966	8,005180863	2089,11162	8,99265378	61,3380838	1859,708689
5	1200	1800	188,496	1353,383459	13,94	20,5714286	14,4024004	10739,86998	56,9766466	10,73986998	1827,487	12,0646784	64,004957	1626,812762
4	1050	2200	230,384	1654,135338	10,38	25,1428571	15,40256709	11485,69428	49,85456578	11,48569428	2294,88796	12,9025033	56,0043373	2042,888964
3	980	2600	272,272	1954,887218	12,54	29,7142857	16,98949825	12669,06884	46,53092806	12,66906884	1722,16144	14,2318521	52,2707149	1533,05288
2	860	3000	314,16	2255,639098	9,15	34,2857143	17,20286714	12828,17803	40,8332634	12,82817803	2330,93424	14,4105881	45,8702192	2074,97704
1	600	3400	356,048	2556,390977	8,39	38,8571429	13,60226704	10143,21054	28,4883233	10,14321054	3214,98309	11,3944185	32,0024785	2861,949508
Temperatura ambiente °C		23												
Presion atm mmHg		680												
Factor de correccion [K]		1,12335423												
					Ce = Consumo especifico									
					El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml									

TABLA 8 DATOS PRUEBA 8, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

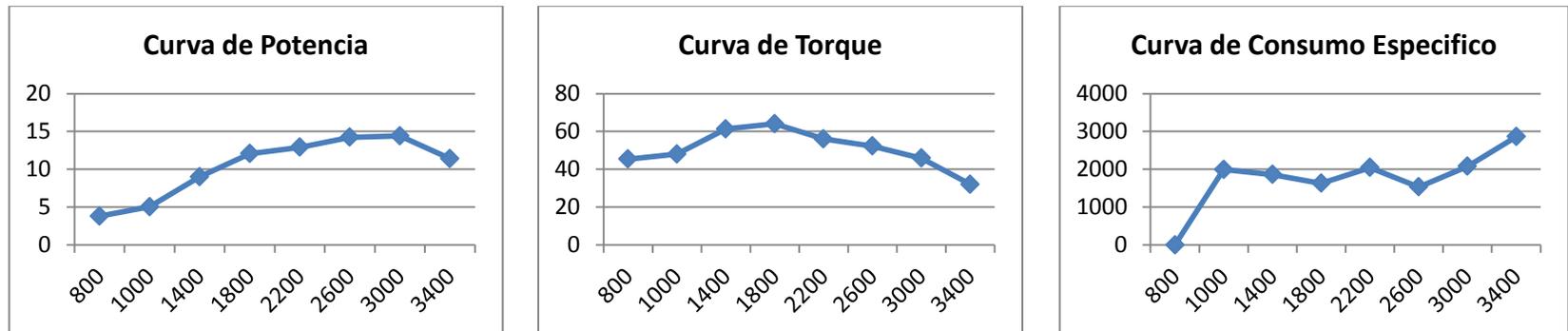


FIGURA 16 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 8, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 9

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	800	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,267377896	3182,183697	37,98443107	3,182183697	#j DIV/0!	3,57471952	42,6699713	#j DIV/0!
7	830	1000	104,72	751,8796992	26,15	11,4285714	5,534255709	4126,894482	39,40884723	4,126894482	2535,25142	4,63596437	44,2700952	2256,858393
6	1100	1400	146,608	1052,631579	17,24	16	10,26837806	7657,129522	52,22859272	7,657129522	2072,58733	8,60166884	58,6712106	1844,998907
5	1180	1800	188,496	1353,383459	13,2	20,5714286	14,16236039	10560,87215	56,02703583	10,56087215	1962,64782	11,8636004	62,9382077	1747,131734
4	1080	2200	230,384	1654,135338	11,95	25,1428571	15,84264044	11813,85698	51,27898194	11,81385698	1938,01208	13,2711462	57,6044613	1725,20121
3	920	2600	272,272	1954,887218	9,48	29,7142857	15,94932489	11893,41157	43,68209573	11,89341157	2426,6174	13,3605142	49,070467	2160,15335
2	800	3000	314,16	2255,639098	8,59	34,2857143	16,00266711	11933,18886	37,98443107	11,93318886	2669,10965	13,4051982	42,6699713	2376,017801
1	580	3400	356,048	2556,390977	8,56	38,8571429	13,14885814	9805,103517	27,53871253	9,805103517	3259,79392	11,0146045	30,9357292	2901,839716
Temperatura ambiente °C		23												
Presion atm mmHg		680		Ce = Consumo especifico										
Factor de correccion [K]		1,12335423		El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml										

TABLA 9 DATOS PRUEBA 9, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

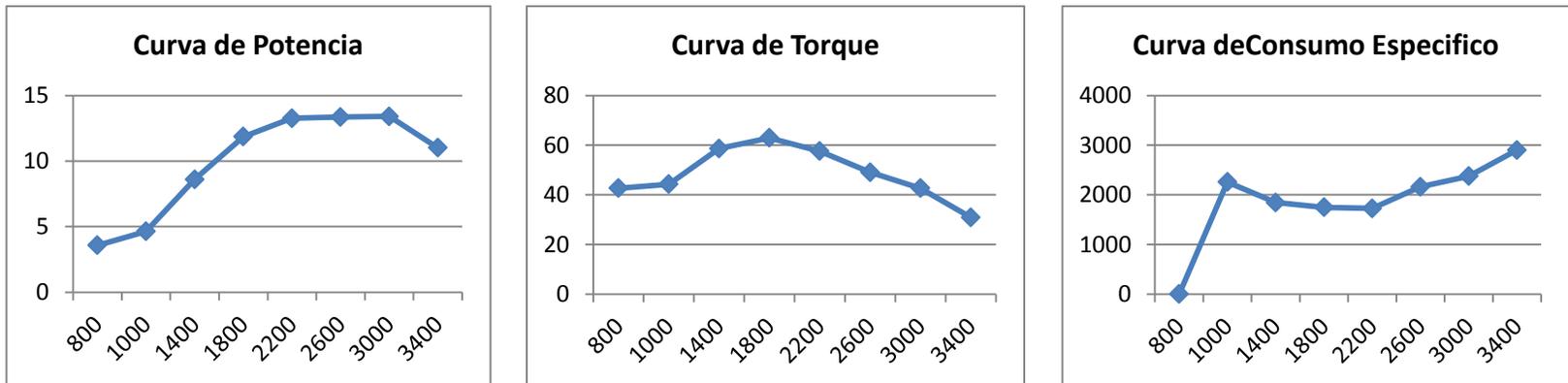


FIGURA 17 CURVAS CARACTERISTICAS PRUEBA 9, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Prueba 10

Toma	Presion [PSI]	Wmotor [RPM]	Wmotor [rad/min]	Wbomba [RPM]	tiempo [S]	caudal [Q]	Potencia [HP]	Potencia [W]	Torque [N-m]	Potencia [kW]	Ce [g/kWh]	Pcorr [kW]	Mcorr [N-m]	Cecorr [g/kWh]
8	800	800	83,776	601,5037594	0	9,14285714	4,267377896	3182,183697	37,98443107	3,182183697	#¡ DIV/0!	3,5807528	42,7419882	#¡ DIV/0!
7	850	1000	104,72	751,8796992	27,79	11,4285714	5,667611269	4226,337723	40,35845801	4,226337723	2329,5034	4,75568732	45,4133625	2070,209294
6	1080	1400	146,608	1052,631579	16,14	16	10,08168028	7517,908985	51,27898194	7,517908985	2254,8388	8,4595285	57,7016841	2003,855519
5	1100	1800	188,496	1353,383459	13,45	20,5714286	13,20220037	9844,880813	52,22859272	9,844880813	2066,25228	11,077954	58,7702338	1836,26033
4	1050	2200	230,384	1654,135338	11,29	25,1428571	15,40256709	11485,69428	49,85456578	11,48569428	2109,9147	12,9242796	56,0988595	1875,062743
3	900	2600	272,272	1954,887218	10,59	29,7142857	15,60260043	11634,85914	42,73248495	11,63485914	2220,54206	13,0921274	48,0847367	1973,376304
2	750	3000	314,16	2255,639098	8,76	34,2857143	15,00250042	11187,36456	35,61040413	11,18736456	2791,79931	12,5885841	40,0706139	2481,047633
1	550	3400	356,048	2556,390977	8,14	38,8571429	12,46874479	9297,94299	26,11429636	9,29794299	3614,97093	10,4625121	29,3851169	3212,593047
Temperatura ambiente °C		24												
Presion atm mmHg		680												
Factor de correccion [K]		1,125250188		Ce = Consumo especifico										
El tiempo esta dado en Segundos y la cantidad de volumen consumido es de 25 ml														

TABLA 10 DATOS PRUEBA 10, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

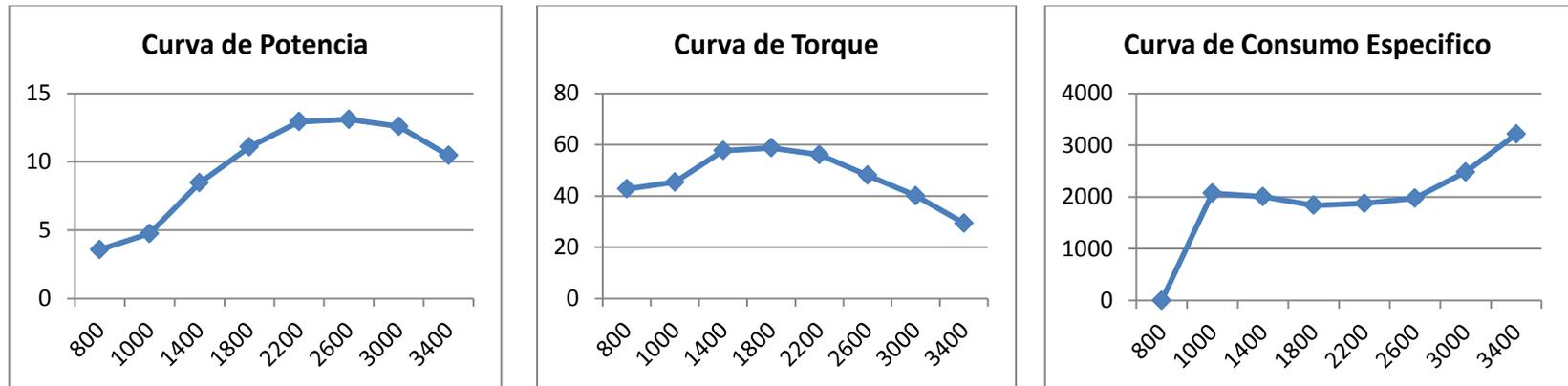


FIGURA 18 CURVAS DE POTENCIA PRUEBA 10, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Promedio

TOMA	RPM	P prom [kW]	M prom [N-m]	Ce prom [g/kWh]
8	800	3,827620124	45,96309494	#iDIV/0!
7	1000	5,103009963	48,47237167	2209,609461
6	1400	9,069024019	62,13695725	1876,412154
5	1800	11,85143497	63,20469419	1822,361679
4	2200	13,13266648	57,27953455	1913,508313
3	2600	13,45634265	49,1643047	2010,356642
2	3000	13,4134751	43,50359331	2233,911468
1	3400	10,50841889	29,51855983	3037,385146
Temperatura ambiente °C		23,4		
Presion atm mmHg		680		
Factor de correccion [K]		1,124112997		

TABLA 11 DATOS PROMEDIO, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

Graficas

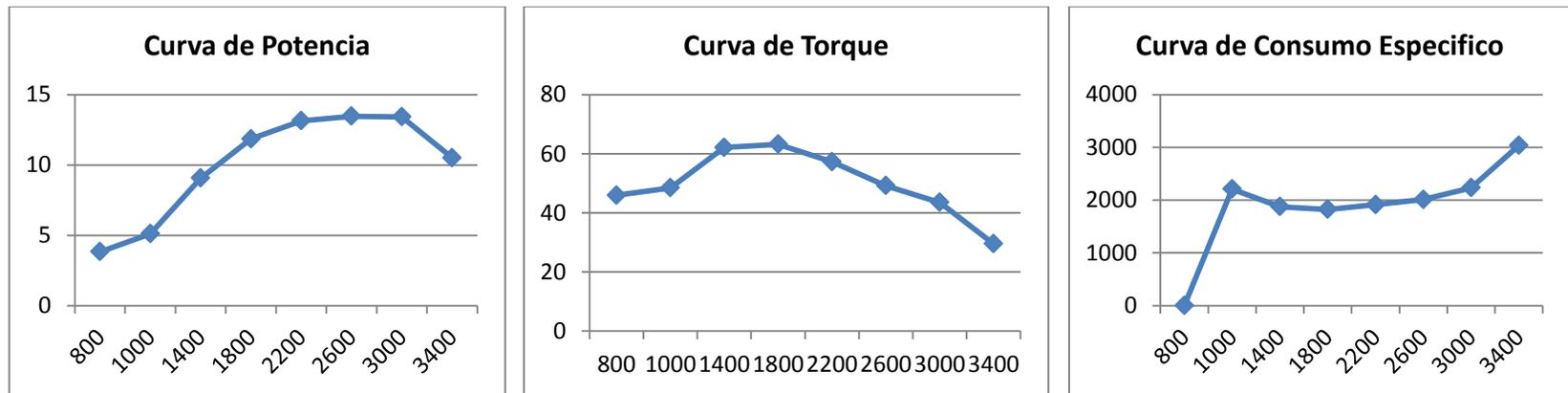


FIGURA 19 CURVAS CARACTERISTICAS PROMEDIO, FUENTE: AUTORES DEL PROYECTO 2013

3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis se realizó a las curvas características tituladas como promedio (tabla 11 – figura 19), en ellas se puede ver con claridad que el comportamiento de las curvas características del motor fue el esperado ya que la curva de potencia y de torque tienen una apariencia tipo campana lo cual indica que el procedimiento se realizó de manera correcta, también es notorio que la curva de potencia es una curva más cerrada que la de torque lo cual es correcto según la investigación previa que se efectuó sobre el análisis de curvas características de un motor. Por otro lado se ve la curva tipo bañera generada por el consumo específico del motor, esto confirma que la toma de datos fue exitosa y que el comportamiento de la maquina fue el deseado.

Este motor genera 13.45 kW de potencia que equivalen aproximadamente a 18 HP, esta potencia es entregada por el motor a 2600 RPM, la curva de potencia inicia en 3.8 kW a un régimen de giro de 800 RPM y termina en 10.5 kW a 3400 RPM.

La curva de torque inicia en 46 N-m cuando el motor se encuentra girando a 800 RPM, luego la gráfica comienza a crecer hasta llegar al torque máximo que para el motor evaluado en esta prueba fue de 63.2 N-m a un régimen de giro de 1800 RPM, al pasar este punto la curva empieza a caer terminando en un torque de 10.5 N-m cuando el motor se encuentra girando a 3400 RPM.

El consumo específico inicia con un valor alto el cual es de 2209.6 g / kWh cuando su régimen de giro es 1000 RPM, al ir aumentando el régimen de giro este valor de consumo específico comienza a descender dando 1822.4 g / kWh como el menor consumo, este valor se consigue a 1800 RPM, después de este punto el consumo específico empieza a aumentar hasta conseguir su punto más alto el cual es de 3037.4 g / kWh a un régimen de giro de 3400 RPM.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las variaciones en las gráficas posiblemente se presentan por una combustión desordenada al tratarse de un motor a carburador; en las gráficas del consumo específico, en la prueba número 2 se registra en el rango de las 3000 rpm, que hubo una mejor dosificación del combustible, por lo que el consumo disminuyó drásticamente, manteniendo el torque y la potencia en valores significativos. Cabe observar que el suministro del combustible se hace mediante el uso de una probeta por gravedad, donde la cantidad de gasolina en la probeta hace variar la presión o la fuerza con la que está llega al carburador. Se recomienda para tal evento, que el nivel de gasolina en dicha probeta se mantenga lo más constante posible, para garantizar que el dispositivo reciba la cantidad exacta que necesita; Normalmente, el suministro de combustible se hace mediante el uso de una bomba, lo que mantiene la presión del combustible uniforme. Otra recomendación sería realizarle un overhaul o preferiblemente un reemplazo al carburador por tratarse de ser usado con una alta señal de desgaste, ya que esto modifica la dosificación que el carburador despacha a los cilindros provocando en la mayoría de los casos una mezcla rica, perjudicando así al rendimiento del motor y con ello las curvas características.
- Para la toma de los datos, existieron varios factores que entorpecieron la buena adquisición de los datos, entre esos el manómetro que indica la presión de aceite hidráulico que está en el dinamómetro, el cual en ocasiones oscilaba aproximadamente en un rango de más o menos 150 psi, lo que no permitía la toma de un dato exacto. Es recomendable calibrar el manómetro o reemplazarlo si es necesario, para que en un futuro los estudiantes no corran con la misma incertidumbre a la hora de adquirir

datos y de esta manera los reportes obtenidos entreguen como resultado una curva característica más acertada a la del motor permitiendo reducir el margen de error a su mínima expresión.

- El comportamiento de las curvas características se ve afectado por la variación de las condiciones climáticas del medio donde se encuentre el motor, es por esta razón que la norma SAE J1349 exige un factor de corrección para el par, la potencia y el consumo específico el cual le da una homogenización a los datos tomados en las diferentes partes del mundo, de todas maneras es importante darle el mejor rendimiento al motor sobre todo a la hora de realizar el proceso de la combustión ya que de este proceso depende todo el comportamiento real del sistema, debido a esto se debe buscar que las condiciones ambientales afecten lo mínimo a la máquina, por tal motivo algunos fabricantes recomiendan el uso de combustibles de mayor octanaje con el fin de mejorar el rendimiento del motor. En el momento que se realizaron las pruebas cuando el equipo operaba a un bajo régimen de giro se presentaba un sonido de golpeteo el cual es conocido como sonido knock, este efecto produce mayor fricción en sus piezas y por ende logra un aumento de la temperatura del motor, lo que perjudica directamente a su comportamiento ya que modifica las características del combustible y también las de la combustión al verse afectada por recibir menor cantidad de aire debido a la alta temperatura, por esta razón las curvas características obtenidas no tendrán un resultado deseado. Para evitar estas modificaciones, alargar la vida útil del motor e impedir futuros daños de partes mecánicas es necesario realizar las pruebas con una gasolina de mayor octanaje con el fin de garantizar un desarrollo adecuado del motor.

- Los motores de combustión interna alternativos a gasolina son motores que varían su comportamiento ya que se ven afectados por muchos elementos externos, por ende se debe entender que las gráficas que se obtienen después de realizar la toma de datos nunca serán iguales, es por esta razón que se debe seguir alguna de las normas que respalden a los bancos de pruebas con el fin de que este rango de diferencia se reduzca a su mínima expresión, el cual es aproximadamente del 5% en cada uno de los datos tomados, logrando de esta manera datos más certeros y reales que describen el comportamiento del motor.
- Antes de iniciar con la toma de datos es importante delegar tareas por lo que es necesario la participación directa de cuatro estudiantes, el primer estudiante se encarga de aumentar la presión del sistema y a la vez es quien está pendiente de la lectura del manómetro, el segundo es quien digita los datos en el computador y también es el que se encarga de mirar las RPM que indica el tacómetro, el tercer estudiante tiene un cronometro con el fin de tomar el tiempo que demora en consumir una cantidad de volumen de combustible establecido y el cuarto estudiante es el responsable de abastecer de combustible al equipo en el momento que lo necesite. Esta distribución de tareas permite disminuir los errores por cambios frecuentes de operarios, esto da como resultado una toma de datos más confiable y por ende las curvas características obtenidas serán más cercanas a las deseadas. También es importante aclarar que los dispositivos de medición son análogos por lo que es recomendable cambiarlos por unos digitales, esto permitiría que los resultados sean más exactos.

- Al no obtener las curvas características del motor Volkswagen debimos comparar la potencia que nos da el fabricante en la ficha técnica del motor con la potencia obtenida en la práctica utilizando el banco de pruebas, es importante aclarar que la potencia dada por el fabricante es la potencia al freno y la que nosotros calculamos es la potencia combinada, por teoría sabemos que nuestras curvas son coherentes ya que la potencia combinada es menor que la potencia al freno, por esta razón recomendamos siempre estar pendientes de que la curva de potencia del motor obtenida en la práctica debe ser menor que la potencia al freno.

5 BIBLIOGRAFÍA

[1] NUÑEZ GONZALES, Carlos. Bancos para Obtención de la Potencia, mepuedeservir.es (en línea), 03, 03, 2012, (fecha de consulta Enero 20, 2013; <http://mepuedeservir.es/wp2/wp-content/uploads/2012/03/3.-BANCOS-PARA-MEDIDA-DE-POTENCIA-Comprim..pdf>).

[2] GONZALES CALLEJA, David. Parámetros Fundamentales y Curvas Características, Motores, 1ª edición, Ediciones Paraninfo S.A., Madrid, España (2011).

[3] ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA. Ciclo Real de Funcionamiento, Motores Agrícolas, (en línea), fecha de la publicación, (fecha de consulta Febrero 5, 2013; http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_real.pdf).

[4] UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. Potencia, 5.uva.es (en línea), 2012, (fecha de consulta Enero 25, 2013; https://www5.uva.es/guia_docente/uploads/2012/449/42166/1/Documento3.pdf).

[5] SANZ ACEBES, Santiago. Obtención de las Curvas Características, Motores, Editorial Editex S.A., Madrid, España.

[6] VICKERS, Sperry. Manual de Oleo hidráulica Industrial, 935100-A, Editorial Blume, Barcelona, España (2011).

[7] BERNAL CASTRO, José Mauricio. Guía sobre Incertidumbre en la Medición Industrial, ICONTEC, 2006, Bogotá, Colombia (2006).

[8] WEINLICH, Steuerungen. Banco de Pruebas de la Potencia de Motores MP con Ordenador MP, Motores de Demostración, (en línea), 22 julio de 2011, (fecha de consulta Abril 14, 2013; <http://www.weinlich.de/e/mpe/mpaus3e.htm>).

[9] ALMEIDA & LAMAS LDA. Bancos de Potencia, (en línea), 2013, (fecha de consulta Abril 14, 2013; <http://www.almeida-lamas.pt/pt/item/7-servicos/91-banco-de-potncia>).

[10] PUERTO, Efraín A. Diseño e Ingeniería de Proyectos de Aire Acondicionado, Presión atmosférica, 26 de febrero de 2011, (fecha de consulta Mayo 4, 2013; <http://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/f1-2/>).

[11] FICHA TÉCNICA DEL MOTOR, Escarabajo, Motormania.inf (en línea), 2003, (fecha de consulta Mayo 4, 2013; <http://www.motormania.info/vwescarabajo.htm>).

ANEXO 1

PRESIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS CAPITALS DE COLOMBIA

Componentes	Altura sobre el nivel del mar (m)	Presión atmosférica	
		mmHg	inHg
Arauca	119	749	29.50
Armenia	1551	640	24.81
Barranquilla	30	757	29.81
Bogotá D.C.	2640	560	21.67
Bucaramanga	959	680	26.67
Cali	995	670	26.56
Cartagena de Indias	0	760	29.92
Cúcuta	320	720	28.80
Florencia	242	738	29.07
Ibagué	1285	651	25.64
Leticia	96	751	29.58
Manizales	2160	585	23.01
Medellín	1538	640	24.85
Mitú	200	742	29.22
Mocoa	590	708	27.89
Montería	18	758	29.86
Neiva	442	721	28.39
Pereira	1411	637	25.24
Popayán	1760	600	24.18
Puerto Carreño	51	755	29.74

Puerto Inírida	95	747	29.59
Quibdó	43	756	29.77
Riohacha	0	760	29.92
San Andrés	0	760	29.92
San José de Guaviare	175	744	29.31
San Juan de Pasto	2527	564	21.98
Santa Marta	3	760	29.91
Sincelejo	213	741	29.17
Tunja	2810	550	21.21
Valledupar	169	745	29.33
Villavicencio	467	719	28.30
Yopal	350	729	28.70

ANEXO 1 PRESIONES ATMOSFERICAS DE LAS CAPITALS DE COLOMBIA [10].

Nota: Los datos en rojo son teóricos.

ANEXO 2
FICHA TÉCNICA DEL MOTOR

Motor	
Tipo	Trasero longitudinal de 4 cilindros opuestos (bóxer) refrigerados por aire y con válvulas en culata.
Cilindrada	1.192 c.c.
Diámetro x carrera	77 x 64 mm
Alimentación	Carburador Solex 28 PITC
Potencia máxima	34 CV a 3.600 rpm
Transmisión	
Tipo	Propulsión trasera
Cambio	Manual de 4 relaciones
Suspensión	
Tipo	Independiente en las cuatro ruedas mediante barras de torsión y amortiguadores de fricción.
Frenos	
Delantero	Tambor
Traseros	Tambor
Dimensiones	
Largo	4.070 mm
Ancho	1.540 mm
Alto	1.500 mm
Batalla	2.400 mm
Vía delantera	1.390 mm
Vía trasera	1.290 mm
Peso	740 Kg
Prestaciones	
Velocidad máx.	120 Km/h

ANEXO 2 FICHA TÉCNICA DEL MOTOR [11]

ANEXO 3
FACTORES DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

Potencia

$$\frac{745.7 \text{ W}}{\text{HP}} \quad \frac{1.341 \text{ HP}}{\text{kW}} \quad \frac{735 \text{ W}}{\text{CV}}$$

Temperatura

$$T_C = (T_F - 32) / 1.8$$

$$T_F = 1.8 T_C + 32$$

$$T_K = T_C + 273.15$$

$$T_R = T_F + 459.67$$

$$T_K = (T_F + 459.67) / 1.8 = T_R / 1.8$$

Velocidad angular

$$\frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}$$

Flujo volumétrico

$$\frac{449 \text{ gal/min}}{\text{pies}^3/\text{s}} \quad \frac{15850 \text{ gal/min}}{\text{m}^3/\text{s}} \quad \frac{3.785 \text{ L/min}}{\text{gal/min}}$$
