UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

ENSAYOS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN FRENO DINAMOMÉTRICO DE BANCO, CON INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Técnico Universitario en
MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Alumnos:
André Henríquez Bustamante
Tomás Figueroa Godoy

Profesor guía:
Roberto Leiva-Illanes

2019

RESUMEN

El siguiente trabajo de título que se presenta a continuación se divide en tres capítulos, que está dirigido al conocimiento y aplicación de la medición de combustibles líquidos en el laboratorio de la Universidad Técnica Federico Santa María perteneciente a la Sede Viña Del Mar.

En el primer capítulo se da a conocer los fundamentos de la medición, fórmulas involucradas y como se contextualiza el ensayo de medición de combustible en el laboratorio de motores, por otro lado, se explican y se recomiendan los instrumentos utilizados en laboratorios profesionales en el cual aplican esta práctica.

En el segundo capítulo se presenta la nueva instrumentación que se implementa en el laboratorio, se da a conocer sus especificaciones técnicas de cada uno y método de uso. Se describe el funcionamiento de sistemas y los procesos de medición de combustible que se debe seguir cuando se realice un ensayo.

El tercer capítulo muestra los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a los motores MITSUBISHI 4G13 y PERKINS con toda la implementación que se realiza incluyendo la instrumentación disponible antes de este trabajo. Posteriormente se concluye cual es el instrumento electrónico que alcanza un valor de consumo específico más próximo a los posibles datos técnicos expuestos por el fabricante, comparando los resultados de los ensayos realizados y apuntando las observaciones de cada circunstancia que se presenten en una medición de combustible líquido.

Finalmente se concluye que así el alumnado puede tener la habilidad de analizar datos de medición dependiendo del instrumento en el cual se realice un ensayo.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

INTRODUCCIÓN **1**

CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLES EN FRENOS DINAMOMÉTRICOS DE BANCO

1.1 FUNDAMENTOS **3**

1.2 CURVAS PRINCIPALES DE ENSAYO **4**

1.2.1 Curvas características 4

1.2.2 Consumo horario 5

1.2.3 Consumo específico (Be) 6

1.3 INSTRUMENTOS EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE MOTORES **10**

1.3.1 Probetas de combustible 10

1.3.2 Densímetro de combustible 11

1.4 CONTEXTO DE MEDICIÓN EN EL LABORATORIO DE MOTORES 12

12

1.4.1 Medición con probetas de combustible 12

1.4.2 Circuito de medición de combustible en el laboratorio de motores 14

1.5 TIPOS DE FLUJÓMETROS EXISTENTES Y RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO 16

1.5.1 Flujómetro de área variable 17

1.5.2 Flujómetro de turbina 17

1.5.3 Medidor de flujo ultrasónico 19

1.5.4 Flujómetro de flujo magnético 21

1.5.5 Flujómetro tipo vórtice 23

1.5.6 Tabla 1-7 comparativa de flujómetros recomendados 24

CAPITULO 2: PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN Y PROCESOS DE LABORATORIO CON RESPECTO A LA MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

2.1 PROCEDIMIENTO GENÉRICO DE MEDICIÓN 26

2.1.1 Medición de combustible en motor ciclo Otto y ciclo Diésel 26

2.2 PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN 29

2.2.1 Medidor de caudal placa orificio 30

2.2.2 Flujómetro DFM 50 37

2.2.3 Balanza ACCURIS 48

2.2.4 Diagrama hidráulico actualizado motor ciclo Otto 50

2.2.5 Diagrama hidráulico actualizado motor ciclo Diésel 52

CAPITULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 ENSAYOS EN MOTOR OTTO 56

3.1.1 Datos previos 56

3.1.2 Observaciones de ensayo 58

3.1.3 Conclusiones 58

3.2 ENSAYOS EN MOTOR DIÉSEL 60

3.2.1 Datos previos 60
3.2.2 Observaciones de ensayo 63
3.2.3 Conclusiones 63

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓNES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1: PRESUPUESTO

ANEXO 2: CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MOTORES MEDIANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Representación de las curvas características.

Figura 1-2. Curvas de consumo específico y horario a 100% de apertura de mariposa.

Figura 1-3. Consumo específico vs % de plena carga.

Figura 1-4. Representación de rendimiento global vs relación de compresión.

Figura 1-5. Probetas de combustible para motores ciclo Diésel.

Figura 1-6. Densímetros de combustible Laboratorio USM.

Figura 1-7. Circuito de combustible en el laboratorio USM.

Figura 1-8. Marcas de referencia de llenado de combustible en la probeta.

Figura 1-9. Flujómetro de mini turbina Obinu.

Figura 1-10. Esquema de un medidor de flujo sónico por tiempo de tránsito.

Figura 1-11. Tipos de configuración del transductor en un medidor de fluido de efecto Doppler.

Figura 1-12. Flujómetro ultrasónico ES-FLOW ES-103l.

Figura 1-13. Flujómetro electrónico FPD3002.

Figura 1-14. Flujómetro de vórtice model 210.

Figura 2-1. Medidor de placas orificio.

Figura 2-2. Medidor de placas montado.

Figura 2-3. Dispositivo generador de la señal que trabaja en conjunto con el elemento de medición.

Figura 2-4. Ventana de inicio del programa Sáenz.

Figura 2-5. Ítem de sensores.

Figura 2-6. Ítem configuración de sensor.

Figura 2-7. Ítem de variables.

Figura 2-8. Ítem configuración de variable.

Figura 2-9. Localización de la toma auxiliar de la adquisición de datos.

Figura 2-10. Dimensiones del medidor en [mm].

Figura 2-11. Circuito de conexión DFM 50.

Figura 2-12. Conexión del DFM 50 (naranjo) a la fusilera y del fusible (rojo-blanco) al cable del interruptor de contacto (amarillo).

Figura 2-13. DFM 50 en estado de reposo.

Figura 2-14. Pantalla N° 1 registro total de consumo de combustible.

Figura 2-15. Pantalla N° 2 contador de consumo de combustible acumulado.

Figura 2-16. Pantalla N° 3 tiempo total de operación en horas.

Figura 2-17. Pantalla N° 4 lectura de operación del motor en reposo en horas.

Figura 2-18. Pantalla N° 5 lectura de operación optima del motor en horas.

Figura 2-19. Pantalla N° 6 lectura de operación de sobrecarga del motor en horas.

Figura 2-20. Pantalla N° 7 contador de consumo de combustible en litros.

Figura 2-21. Pantalla N° 8 tiempo de interferencia acumulado en DFM 50.

Figura 2-22. Pantalla N° 9 valor de consumo en línea del motor.

Figura 2-23. Pantalla N° 10 capacidad de batería integrada.

Figura 2-24. Pantalla N° 11 temperatura de medición.

Figura 2-25. Pantalla N° 12 volumen de combustible en la cámara de medición.

Figura 2-26. Balanza ACCURIS.

Figura 2-27. Diagrama hidráulico actualizado motor ciclo Otto.

Figura 2-28. Diagrama hidráulico actualizado motor ciclo Diésel.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Especificaciones de probetas de ensayo.

Tabla 1-2. Especificaciones de densímetros de combustibles.

Tabla 1-3. Especificaciones flujómetro de mini turbina Obinu.

Tabla 1-4. Especificaciones extraídas del catálogo del flujómetro ES-FLOW.

Tabla 1-5. Especificaciones flujómetro magnético FPD3002.

Tabla 1-6. Especificaciones flujómetro Model 210.

Tabla 1-7. Comparativa de flujómetros recomendados.

Tabla 3-1. Datos de ensayo motor ciclo Otto.

Tabla 3-2. Datos de ensayo motor ciclo Diésel.

NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA

La nomenclatura presentada en este texto se basa en el sistema internacional (SI) y la simbología en normas internacionales ISO 1219-1.

SIGLAS

VDC: Voltaje de corriente directa.

A: Amperio.

SW: interruptor.

mV: milivolts.

V1: Batería N° 1 de 12 [V].

V2: Batería N° 2 de 12 [V].

OBJETIVO GENERAL

- Realizar ensayos utilizando combustibles líquidos incorporando nuevos equipos en el laboratorio de motores con instrumentación actualizada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y evaluar diferentes tipos de instrumentos de ensayos de medición de consumo de combustible.

- Actualizar la instrumentación de medición de combustible líquido en el laboratorio de motores, incorporando nuevos equipos y métodos que mejoren la determinación del consumo específico.

- Comparar resultados de consumo de combustible mediante el uso de diferentes instrumentos de laboratorio.

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de titulación se realiza con el de fin de apoyar el aprendizaje de la asignatura de laboratorio de máquinas, ayudando al alumno a entender los conceptos aprendidos en clases mediante el uso de instrumentos y realización de ensayos relacionados en el laboratorio que dispone la universidad.

El laboratorio actualmente cuenta con un sistema de probetas de ensayo como instrumentación para realizar mediciones de combustible líquido, sea para motores de ciclo Diésel como para motores de ciclo Otto. Sin embargo se ve la necesidad de implementar nuevas metodologías e instrumentos de medición con el propósito de obtener una adecuada curva de consumo específico.

La actualización consiste en implementar nuevos instrumentos en el laboratorio de motores con el objetivo de que el lector conozca sobre las distintas formas de llegar a un resultado de consumo horario y específico. Tales resultados se consideran importantes porque permiten ajustar el motor a condiciones estrictas de operación, como en el caso de una competición automovilística, aplicaciones a elevadas alturas donde la densidad del aire es menor o como una fuente para de reducir emisiones en una revisión técnica.

Se implementan principalmente flujómetros electrónicos, uno de tipo magnético y otro de área variable y una balanza digital debido a la precisión que el fabricante promete en el instrumento, ya sea para contrastar el resultado de las probetas y así, tener un margen de precisión de cada uno de los instrumentos. Para concretar, se realizan ensayos en el mismo laboratorio con la misma metodología aprendida en la asignatura de laboratorio de motores, observando y apuntado las diferencias de cada experiencia en este trabajo de título.

CAPITULO 1: ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLES EN FRENOS DINAMOMÉTRICOS DE BANCO

1.1 FUNDAMENTOS

El propósito principal de la medición de combustible es conocer el valor del consumo específico y graficarlo junto con las curvas de potencia efectiva y torque. Teniendo esto presente se puede saber los rangos de mayor eficiencia del motor a ensayar y ajustarlo a necesidades de operación.

Generalmente el fabricante no da a conocer el valor teórico real del consumo de combustible, ni tampoco es calculable teóricamente de la siguiente ecuación:

1. $$B = \frac{\Delta V}{\Delta t} * \rho c$$

donde:

ΔV es la variación de volumen consumido en [m^3].

Δt es el tiempo transcurrido en el cual el combustible fue consumido en [s].

ρc es la densidad del combustible en [kg/m^3].

Finalmente la unidad de B es [kg/s].

La densidad se mide con un densímetro y la variación de volumen con respecto al tiempo es obtenida mediante un instrumento, en este caso probetas de ensayo en el laboratorio. El problema es que al realizar un ensayo reiteradamente con las probetas, se obtienen leves diferencias en los resultados, es por esto que no resulta confiable este método, porque no se puede determinar correctamente el cálculo y la curva del consumo específico, y por ende, es imposible determinar el rango óptimo de operación del motor.

1.2 CURVAS PRINCIPALES DE ENSAYO

1.2.1 Curvas características

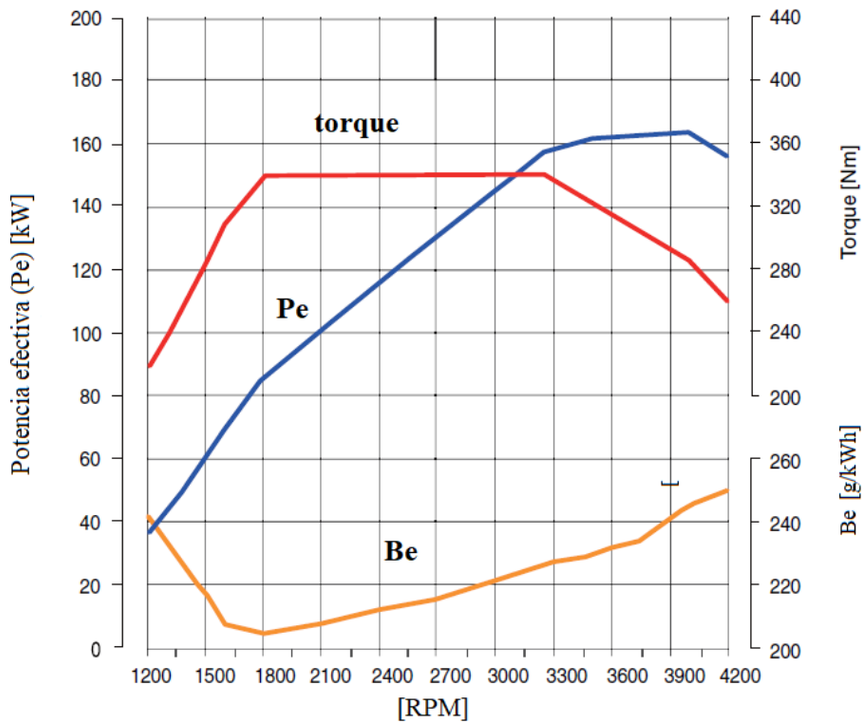
Es la representación cartesiana que definen las variables de torque, potencia efectiva (Pe) y consumo específico (Be) de un motor a combustión interna cuando existe 100% de apertura de mariposa y 100% de carga del motor (Fig. 1-1), donde la potencia y el torque aumenta progresivamente hasta alcanzar su punto máximo hasta que finalmente las curvas decaen por efecto del roce y pérdidas internas de calor. Por una parte el consumo específico aumenta a bajas RPM a causa de la necesidad de mayor combustible en el cilindro para mantener una mezcla estequiométrica estable y aumentar el rendimiento térmico del motor.

Generalmente cuando la potencia está cerca de su valor máximo es donde se presenta el menor consumo específico debido a las siguientes variables:

1. Mayor rendimiento volumétrico (mayor volumen de aire introducido en el cilindro) que es ajustado por el fabricante mediante la distribución de válvulas del motor, esto produce que aumente la potencia efectiva debido a que aumenta la potencia indicada (potencia al interior del cilindro) y disminuya el consumo específico por relación de aire y combustible.

2. Una mezcla de aire-combustible que se acerca al valor de mezcla ideal (14.7:1).

Es importante declarar que el punto máximo de la potencia al freno no coincide con el punto mínimo de consumo específico debido a una combustión incompleta a plena carga debido a que el exceso de aire no es suficiente.



Fuente: Manual de servicio Ssangyong Action 2010.

Figura 1-1. Representación de las curvas características.

1.2.2 Consumo horario

Es la cantidad de combustible consumida en masa o en volumen por el motor en un intervalo de tiempo determinado, comúnmente asignado en horas de operación. Este valor tiene relación directa con el consumo específico.

Se define matemáticamente en la fórmula N°1 en el ítem 1.1.

Para que el resultado quede en función del volumen, se debe dividir el valor de B por la densidad (ρc) quedando la fórmula en:

2. $$\frac{B}{\rho c} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Por otra parte se tiene el consumo horario en masa:

3. $$B\ (en\ masa) = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

donde:

Δm es la variación de la masa consumida en [kg].

Δt es el tiempo transcurrido en el cual el combustible fue consumido en [s].

1.2.3 Consumo específico (Be)

Corresponde a la relación del consumo horario y la potencia efectiva, este valor es útil para evaluar la economía de un motor, pérdidas de potencia al freno y ajustes que se deseen realizar a un motor con los siguientes fines:

1. Aplicaciones a elevadas alturas: En esta circunstancia se ajusta la curva de consumo específico debido a que la densidad del aire es menor y esto produce un menor llenado de aire en los cilindros que afecta la dosificación y el consumo de combustible.

2. Plantas de revisiones técnicas: Se estudia el consumo específico junto con la potencia al freno para corroborar el consumo de combustible de un vehículo en unidades de [g/kWh] en comparación con la información que dicta el fabricante, como también como parte de un ensayo de diagnóstico.

3. Ajustes especiales de operación: Dependiendo de una necesidad se ajusta el consumo de combustible a convenir en una determinada RPM.

Se define matemáticamente como:

4. $$Be = \frac{B}{Pe}$$

donde:

B es el consumo horario en [kg/h].

Pe es la potencia efectiva o también llamada potencia al freno en [kW].

La unidad expresada en la fórmula comúnmente se encuentra como [g/kWh].

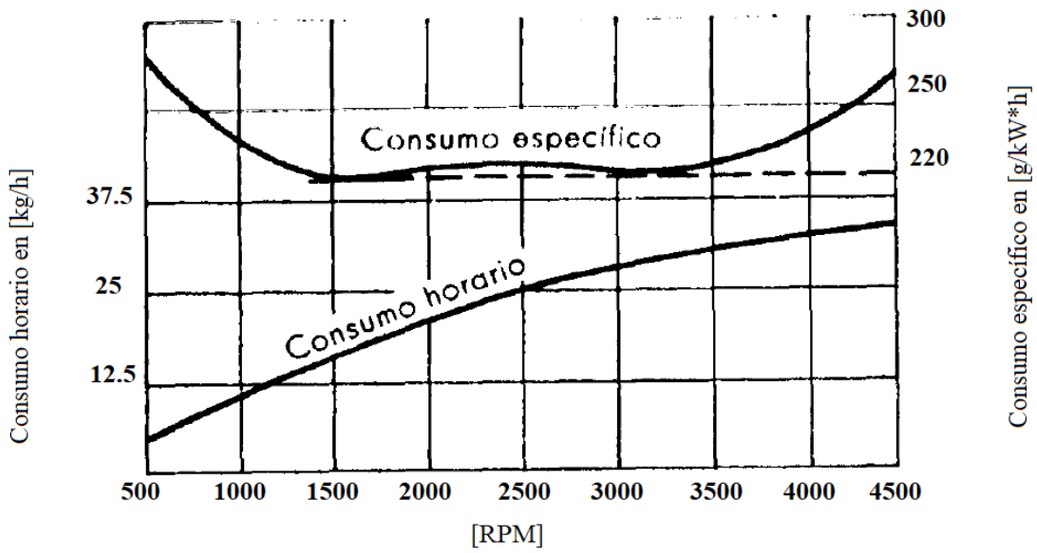
Las aplicaciones del consumo específico en un laboratorio de motores corresponden a las siguientes pruebas:

1. Prueba de flexibilidad de motor: Se utiliza con el fin de conocer el rango de RPM en el cual el motor presenta la mayor potencia efectiva (Pe) y el menor consumo específico (Be)

con el propósito de operar el motor a cargas constantes o variables con un consumo de combustible adaptado a condiciones exigentes de operación.

2. Prueba de consumo mínimo y máximo: El consumo específico indica las características económicas de operación del motor, cuanto más bajo sean los valores de consumo específico, más económico resulta su funcionamiento, generalmente tiene valores mínimos en regímenes intermedios y aumenta progresivamente regímenes bajos y altos (Fig. 1-2), Esto se debe principalmente a las pérdidas de calor y roce respectivamente.

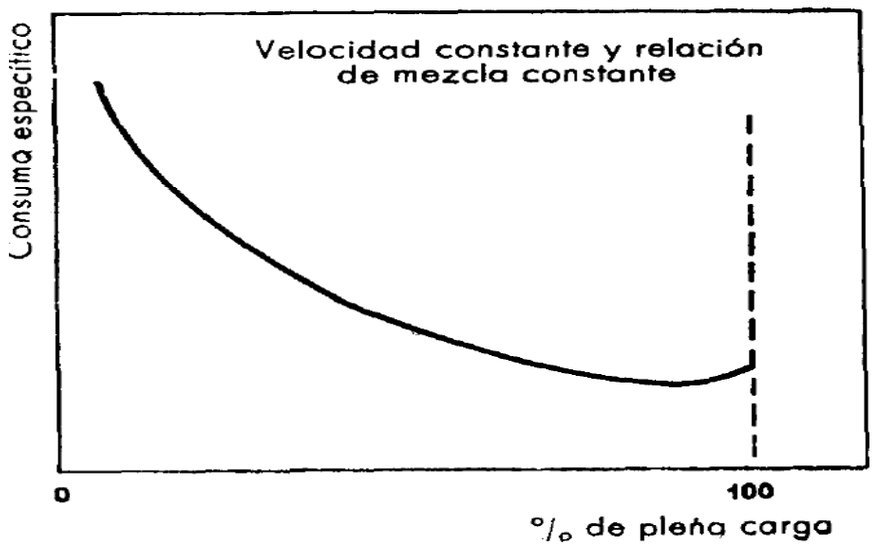
A continuación se muestran las curvas características de consumo horario y específico.



Fuente: Motores endotermicos – Dante Giacosa.

Figura 1-2. Curvas de consumo específico y horario a 100% de apertura de mariposa.

En el caso de la representación de la curva del consumo específico para un número determinado de revoluciones (Fig. 1-3), se tienen las siguientes aseveraciones:



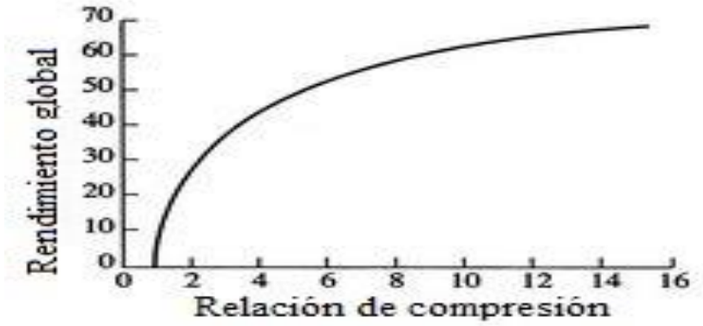
Fuente: Motores endotérmicos – Dante Giacosa.

Figura 1-3. Consumo específico vs % de plena carga.

1. La potencia efectiva máxima no siempre coincide con el consumo específico más bajo, ya que la capacidad de potencia efectiva depende la presión media efectiva (presión media que ejercen los gases sobre el pistón) y no hay relación directa con las propiedades del consumo de combustible.

2. El rango óptimo de operación de un motor a combustión interna corresponde al mayor rendimiento volumétrico, es decir, cuando el cilindro tiene el máximo volumen de aire en su interior en función a las revoluciones de dicho motor, esto se ve demostrado en el consumo de combustible, sin embargo, en el caso de un motor con desgaste excesivo o con problemas de funcionamiento, la curva de consumo específico fluctúa en la curva de un ensayo, provocando pérdidas de potencia, mayores emisiones y mayor consumo de combustible. Es por esto que es importante saber el consumo horario real como parte de un estudio de ensayo de motores.

3. Al aumentar la relación de compresión, aumenta el rendimiento efectivo real (Fig. 1-4) y como es inversamente proporcional a la potencia del combustible, disminuye el consumo específico (Be) (véase la ecuación N° 5).



Fuente: Buscador de Google.

Figura 1-4. Representación de rendimiento global vs Relación de compresión.

Matemáticamente el rendimiento global está dada por la siguiente ecuación:

5. $$\eta\, gl = \frac{Pe}{PC}$$

donde:

η gl es rendimiento global en %.

Pe es la potencia efectiva o también llamada potencia al freno en [kW].

PC es potencia del combustible en [kW].

Por otro lado la potencia de combustible está dada por la expresión:

6. $$Pc = B * Hinf$$

donde:

Pc es potencia del combustible en [kW].

B es consumo de combustible en [kg/s].

Hinf es poder calorífico inferior del combustible [kJ/kg].

Considerando la ecuación N° 5 y N° 6 el rendimiento global puede ser calculado en función del consumo específico de la siguiente expresión:

7. $$\eta\, \mathrm{gl} = \frac{1}{Be * Hinf}$$

Be en [g/kWh].

Hinf en [kWh/g].

1.3 INSTRUMENTOS EXISTENTES EN EL LABORATORIO DE MOTORES

1.3.1 Probetas de combustible

Instrumentos fabricados de vidrio con concavidades que determinan la capacidad de la probeta (Fig. 1-5). Estas se dividen en 2 unidades de medida en el laboratorio USM, tales son 125 [cc] y 250 [cc] (en motor ciclo Otto), y 50 [cc] y 200 [cc] (en motor ciclo Diésel).

Tabla 1-1. Especificaciones de probetas de ensayo.

	Probeta Otto	Probeta Diésel
Marca	-	-
Rango [cc]	0 - 250	0 - 200
Resolución [cc]	-	-
Precisión %	-	-

Figura 1-5. Probetas de combustible para motores ciclo Diésel.

1.3.2 Densímetro de combustible

El laboratorio USM dispone de dos densímetros (Fig. 1-6) cuya finalidad de conocer la densidad del combustible es calcular el consumo horario de un motor a ensayar, con el fin de conocer el consumo específico.

Fuente: Fotografía de laboratorio de motores

Figura 1-6. Densímetros de combustible Laboratorio USM.

1.3.2.1 Datos técnicos

Las especificaciones de los densímetros que se encuentran en el laboratorio son las siguientes:

Tabla 1-2. Especificaciones de densímetros de combustibles.

Especificaciones	**Densímetro 1**	**Densímetro 2**
Marca	France	France
Rango [g/ml]	0.7 - 0.8	0.8 – 0.9
Resolución [g/ml]	0.001	0.001
Precisión [g/ml]	0.001	0.001

1.4 CONTEXTO DE MEDICIÓN EN EL LABORATORIO DE MOTORES

La medición en el laboratorio consiste en la operación manual de flujo de combustible hacia las probetas, por una parte las curvas características se originan mediante el uso del freno dinamométrico junto al programa informático llamado Smacmod, que dibuja las variables de torque y potencia recibidos en la unidad de control en función de las RPM.

Para realizar el ensayo se aplica previamente una revisión general de los sistemas del motor como también la revisión de niveles (como nivel de aceite motor, nivel de electrolito de batería o nivel de líquido refrigerante) si es necesario. El motor debe estar en óptimas condiciones, es decir, que no presente ningún tipo de falla en funcionamiento, por la razón de que cualquier anomalía interna en el (ruidos, roces, juegos excesivos, etc.) o falla de un sistema (como por ejemplo el sistema electrónico de combustible) alteran el llenado del cilindro produciendo un aumento en el consumo de combustible desviando el resultado.

Por otra parte el sistema de combustible del laboratorio debe estar estanco y las válvulas de paso de combustible deben funcionar correctamente.

1.4.1 Medición con probetas de combustible

La medición consiste en el ensayo del motor MITSUBISHI 4G13 y motor PERKINS, en el cual se mide el consumo de combustible a escala de RPM que se desee estudiar (cada 500 o 1000 RPM generalmente) para ver el comportamiento progresivo del consumo específico en las curvas características.

Mediante el uso de probetas, el operador del freno dinamométrico junto a un ayudante deben disponer de un cronómetro, tal que cuando el volumen de combustible se consuma en centímetros cúbicos según las marcas de referencia de la probeta esta se anota en el pizarrón del laboratorio junto con el tiempo que fue transcurrido, por lo tanto mediante la relación de volumen y tiempo se llega a un resultado cercano del consumo horario del motor en cuestión. El resultado tiene errores debido a que depende del registro visual del

asistente que posee el cronómetro y es imposible registrarlo correctamente cuando la velocidad del flujo de combustible es considerablemente baja o alta en un número determinado de RPM. Por otro lado resulta difícil mantener una RPM estable debido a que el freno está conectado a la red sanitaria de la institución y esto produce que no exista un flujo continuo de caudal hacia el freno, Como consecuencia de aquello el estudio del consumo específico pierde veracidad.

El procedimiento que se realiza para efectuar la medición una vez que los componentes se encuentren en normal funcionamiento, esto implica que el motor y el freno dinamométrico se encuentren operativos sin ningún tipo de falla o anomalía presente, consta de lo siguiente:

1. Poner en marcha el motor y llevarlo a la temperatura de funcionamiento.

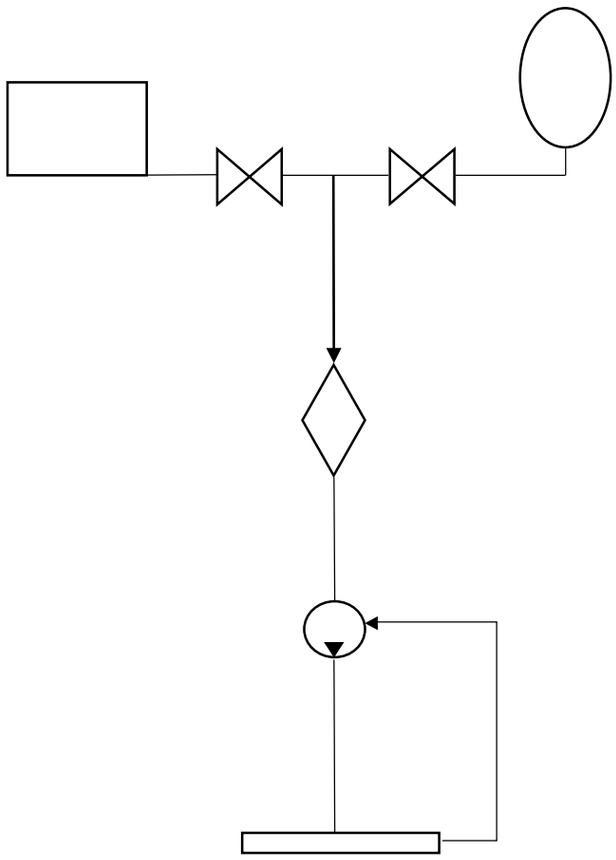
2. Controlar parámetros auxiliares: Temperatura de agua del motor, temperatura ambiental, presión de aceite, extracción correcta de gases producto de la combustión, ventilación de la sala y monitoreo correcto de dichos parámetros físicos.

3. Mantener el motor a una RPM determinada con ayuda de la carga del freno dinamométrico, y accionar las válvulas de paso de combustible una vez que el motor se encuentre en las condiciones mencionadas en el paso 2.

4. El operador mientras mantiene al motor con carga, producto del esfuerzo del freno dinamométrico, un ayudante debe estar atento a las marcas de referencia de la probeta de ensayo cuando el combustible se consuma dentro de las dos marcas de referencia (Fig. 1-8). Una vez consumido el combustible el ayudante marca el tiempo en el cual transcurre el consumo, anotando esta en el pizarrón del laboratorio.

5. Luego de realizar la medición se deben registrar los parámetros ambientales (temperatura, presión y porcentaje de humedad relativa), potencia al freno, torque, densidad de combustible, hora y fecha del ensayo con respecto a las RPM en el cual el motor fue ensayado.

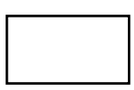
1.4.2 Circuito de medición de combustible en el laboratorio de motores



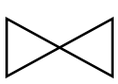
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-7. Circuito de combustible en el laboratorio USM.

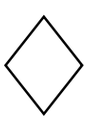
Símbolos:



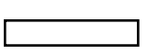
Estanque.



Llave de paso.



Filtro.



Riel común de combustible.

Bomba de combustible.

Probeta.

1.4.2.1 Funcionamiento de sistema de probetas

Este diagrama muestra el circuito de forma simplificada el cual posee dos recipientes de combustible, seguido de unas llaves de paso las que permiten controlar que depósito se va a utilizar, en este caso, estanque (lado izquierdo) y probeta (lado derecho) (Fig. 1-7). Seguido de un filtro encargado de retener partículas contaminantes del combustible para que este llegue a la bomba y posteriormente al riel de alimentación común. El riel posee un retorno que se modifica para que fluya directamente a la línea de combustible y no al estanque.

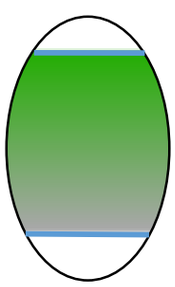
El sistema incluye los motores de ciclo de Otto y Diésel y el funcionamiento es el siguiente:

1. Una vez que el motor esté en funcionamiento con la temperatura que indica el fabricante, la llave de paso izquierda se encuentra abierta manteniendo el flujo normal de combustible.

2. Se fija una RPM y se mantiene con ayuda de la carga del freno dinamométrico.

3. Se abre la llave de paso derecha que permite el flujo de combustible hacia la probeta.

4. La probeta se llena de combustible dentro de a las referencias marcadas en azul.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-8. Marcas de referencias de llenado de combustible en la probeta.

5. A continuación, se cierra la llave de paso izquierda y se abre la llave de paso derecha que permite el paso de combustible desde la probeta hacia el motor.

6. Una vez registrado el valor del consumo de combustible en segundos, se abre la llave de paso izquierda en el cual fluye el combustible desde el estanque al motor.

7. Se repite el paso 1 hasta obtener todos los datos en distintas revoluciones.

1.5 TIPOS DE FLUJÓMETROS EXISTENTES Y RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

Las siguientes recomendaciones de flujómetros están basados en la necesidad que presenta el laboratorio como motivo de actualización tecnológica, para ello se calcula el mínimo consumo horario de un motor a combustión interna adaptable al laboratorio de la universidad.

Se selecciona el motor HB perteneciente a la marca de vehículos CHEVROLET SPARK por la razón de que se solicita al fabricante las curvas características, incluyendo la curva de consumo específico, y por otra parte el tamaño del motor y su cilindrada cumplen con las características para ser ensayado en el laboratorio de motores del establecimiento.

Se calcula el consumo horario con los datos de fábrica mediante la fórmula N° 1 (ver cálculo en el Anexo 2) teniendo como resultado un consumo mínimo de 0.66 [g/s] = 2.376 [l/h], ahora bien, con este resultado se recomienda comprar un flujómetro con un rango de 2 [l/h] hasta 100 [l/h] para usos de motores de medianos en el laboratorio.

Si se desea ensayar un motor pequeño (cilindradas menores a 500 [cc]), la medición de combustible se debe realizar por otra metodología que no está considerada en este trabajo de título, en caso de ensayo de motos se recomienda el ensayo en un freno dinamométrico de rodillo con una balanza digital como instrumento de medición, [véase la memoria Freno Dinamométrico De Chasis: Máximo Aprovechamiento, para mayor información]. Por otra parte no están considerados los ensayos de medición de combustibles para motores grandes (marinos con una cilindrada de 8 [l] por ejemplo) en el laboratorio de motores, debido a la geometría de los frenos dinamométricos imposibilita su inserción.

1.5.1 Flujómetro de área variable

Son utilizados para medir el caudal de líquidos y gases. Su funcionamiento se basa en el área en el cual el fluido fluye en un tubo cónico variando el área para el paso de este. El instrumento contiene un flotador dentro del tubo cónico donde la altura de este es directamente proporcional a la velocidad de flujo.

1.5.2 Flujómetro de turbina

Este medidor está compuesto de un rotor y álabes, que es instalado en el centro de una tubería, y su giro es producido con una velocidad angular directamente proporcional al flujo que la recorre. Cuando la turbina comienza a girar por el flujo a su alrededor, existe una velocidad determinada de esta, para medir esta velocidad y que no se generen fuerzas o resistencias sobre el aspa que produzca error, se utilizan los convertidores electromagnéticos de dos tipos:

1.- **De Reluctancia**: El campo magnético es creado por un imán permanente montado en la bobina captadora exterior, por este campo pasan los álabes de la turbina y así se obtiene su velocidad.

2.- **De tipo Inductivo**: El rotor tiene un imán permanente que genera un campo magnético giratorio y este a su vez induce una corriente alterna en la bobina captadora exterior.

Características:

- La turbina está limitada por la viscosidad del fluido, ya que en las paredes el fluido se mueve más lento que en el centro y los álabes no pueden girar más rápido.

- Se puede utilizar para medir flujo de gases y líquidos limpios o filtrados.

- El instrumento debe ser montado de modo que no se vacíe cuando el fluido cese, ya que si estando vacío un fluido a alta velocidad lo choca, se podría dañar seriamente.

- Generalmente los rangos de turbina son para aplicaciones industriales.

1.5.2.1 Flujómetro de mini turbina Obinu

Su funcionamiento consiste en una pequeña turbina ubicada en el interior del medidor (Fig. 1-9), genera una señal la cual es detectada por un sensor de efecto hall, generando un tren de impulsos que es recibido por un receptor de señales, que transforma el impulso en valor de caudal.

Su uso en el laboratorio es solo para RPM iguales o mayores a 2000.

Fuente: Ficha técnica mini turbina Obinu.

Figura 1-9. Flujómetro de mini turbina Obinu.

Tabla 1-3. Especificaciones Flujómetro de mini turbina Obinu.

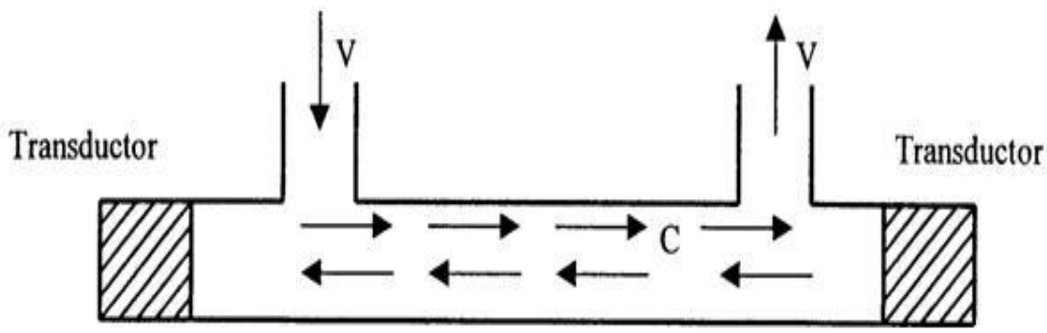
Tipo de medición	**Digital**
Posición de medición	**En línea**
Rango de flujo	**9 a 180 [l/h]**
Precisión	**1 %**
Resolución	**1 [l/h]**
Tipo de material	**Acero inoxidable**
Temperatura de operación	**-20 a 100 [°C]**
Máxima presión de trabajo	**300 [psi] (20 [bar])**
Fuente de alimentación	**24 [VDC]**

1.5.3 Medidor de flujo ultrasónico

Funcionan en base a ondas sonoras enviadas tanto a favor como en contra del fluido a medir, midiendo la diferencia de velocidad de ambas ondas. Normalmente estas son generadas y recibidas por un elemento piezoeléctrico.

Existen dos tipos:

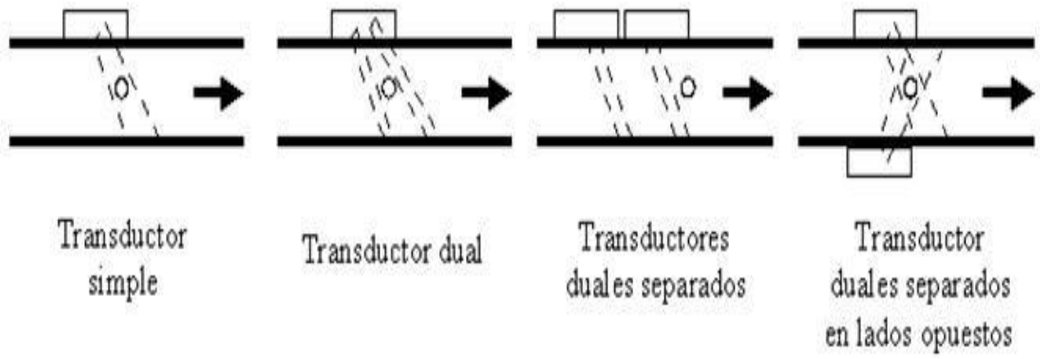
Medidor por tiempo de tránsito: Funciona enviando dos ondas de sonido a la misma velocidad, pero en direcciones contrarias, donde una ira a favor y otra en contra del flujo (Fig. 1-10), lo que origina que la que va a favor aumente su velocidad y la que va en contra la disminuya, permitiendo, al medir la diferencia de velocidad de ambas ondas sónicas, medir también la velocidad del caudal.



Fuente: Imagen de Google.

Figura 1-10. Esquema de un medidor de flujo sónico por tiempo de tránsito.

Medidor de efecto Doppler: Se basa en el fenómeno de que una onda sonora varia su frecuencia, al alejarse o acercarse tanto quien la origina como quien la recibe, efecto que también se percibe cuando una onda sonora circula a través de un medio que está en movimiento (Fig. 1-11), como en este caso es un fluido con un caudal determinado, pues al estar en movimiento el medio por el que se desplaza el sonido, genera una variación en su frecuencia, variación que al ser medida será proporcional al caudal.



Fuente: Imagen de Google.

Figura 1-11. Tipos de configuración del transductor en un medidor de fluido de efecto Doppler.

1.5.3.1 Flujómetro ultrasónico ES-FLOW ES-103l

Recomendado para el uso de medición de consumo de ralentí en el laboratorio USM (Fig. 1-12), el instrumento es vendido por la empresa Bronkhorst (perteneciente a los países bajos) las especificaciones son las siguientes:

Fuente: Ficha técnica ES-FLOW.

Figura 1-12. Flujómetro ultrasónico ES-FLOW ES-103l.

Tabla 1-4. Especificaciones extraídas del catálogo del flujómetro ES-FLOW ES-103l.

Tipo de medición	**Análogo/Digital**
Posición de medición	**En línea**
Rango de flujo de baja escala	**4 a 200 [ml/min]**
Rango de flujo de alta escala	**201 a 1500 [ml/min]**
Precisión	**1 %**
Resolución	**1 [ml/min]**
Tipo de material	**Acero inoxidable**
Máxima presión de trabajo	**150 [psi] (10 [bar])**
Máxima viscosidad permitida	**Independiente de la viscosidad**
Uso permitido para mediciones que incluyen bombas de combustibles	**Si**
Uso permitido para mediciones de flujo por gravedad	**Si**
Fuente de alimentación	**24 [VDC]**

1.5.4 Flujómetro de flujo magnético

La medición de caudal se realiza por el principio electromagnético, donde el fluido en movimiento atraviesa un campo magnético y genera un voltaje que es directamente proporcional al flujo volumétrico. El instrumento está compuesto de un tubo alineado con un material no conductor, dos bobinas electromagnéticas, dos electrodos separados 180° y una unidad de cálculo.

1.5.4.1 Flujómetro magnético FPD3002

Recomendado para el uso de laboratorio en ensayos de motores pequeños y medianos, compuesto por un sensor de efecto Hall (Fig. 1-13) las especificaciones son las siguientes:

Tabla 1-5. Especificaciones Flujómetro magnético FPD3002.

Especificaciones	
Tipo de medición	**Digital**
Posición de medición	**En línea**
Rango	**2 a 100 [l/h]**
Precisión	**0.5%**
Resolución	**0.5 [ml]**
Temperatura del líquido a medir	**-40 a 80 [°C]**
Mínima viscosidad admitida	**1 [cP]**
Máxima viscosidad permitida	**1000 [cP]**
Fuente de alimentación	**4.5 a 24 [VDC]**
Tipo de material	**Aluminio**

Fuente: Ficha técnica FPD3002.

Figura 1-13. Flujómetro electrónico FPD3002.

1.5.5 Flujómetro tipo vórtice

Estos medidores funcionan en base al fenómeno que ocurre cuando un fluido con un caudal determinado choca con un obstáculo, en el que se genera un flujo turbulento con una rotación espiral llamado vórtice. Donde se ocupa el principio de que la frecuencia de desprendimiento de los vórtices es proporcional al caudal en ese momento.

La frecuencia de los vórtices se puede medir por medio de la variación de presiones tanto altas y bajas que ellos mismo producen mientras se van desplazando, lo que puede ser medido tanto con aparatos digitales como análogos.

1.5.5.1 Flujómetro tipo vórtice Model 210

Flujómetro de tipo vórtice recomendado para el laboratorio de ensayo de motores con propósitos de diversas mediciones tales como líquidos, gases y compuestos químicos, considerando también la medición de combustibles líquidos (Fig. 1-14). El instrumento es vendido por la empresa INTEKFLOW EE.UU y sus especificaciones son las siguientes:

Tabla 1-6. Especificaciones flujómetro Model 210.

Especificaciones	
Tipo de medición	**Digital**
Posición de medición	**En línea**
Rango	**0.007 [cc/min] – 20 [gpm]**
Precisión	**1 %**
Resolución	**1 [ml]**
Tipo de material	**Acero inoxidable**
Máxima presión de trabajo	**1000 [psi] (68.94 [bar])**
Máxima viscosidad permitida	**No se específica**
Fuente de alimentación	**24 [VDC]**

Fuente: Ficha técnica Model 210.

Figura 1-14. Flujómetro de vórtice model 210.

1.5.6 Tabla 1-7. Comparativa de flujómetros recomendados

Nombre del instrumento	**Tipo de flujómetro**	**Tipo de tecnología**	**Posición de medición**	**Rango**	**Ventajas**	**Desventajas**
ES-FLOW	Ultrasónico	digital	En línea	4 – 1500 [ml/min]	Ideal para consumos en ralentí	-
FPD3002	Magnético	Electrónico	En línea	2 – 100 [l/h]	Ideal para motores pequeños y medianos	Interferencia en caso de campo magnético existente
Model 210	Vórtice	Electrónico	En línea	0.007 [cc/min] – 20 [gpm]	Apto para diferentes tipos de fluidos	Demora en la medición
Mini turbina Obinu	Turbina	digital	En línea	9- 180 [l/h]	Bajo margen de error (0.5%)	Solo para RPM iguales o superiores a 2000

CAPITULO 2: PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN Y PROCESOS DE LABORATORIO CON RESPECTO A LA MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

2.1 PROCEDIMIENTO GENÉRICO DE MEDICIÓN

El procedimiento que se tiene en el taller actualmente para la medición de combustible requiere de mucha atención y coordinación de parte de los desarrolladores de las pruebas en el freno, es decir, del alumnado presente en el laboratorio.
El procedimiento actual que se tiene para medir el combustible consta de cronometrar el tiempo que se demora el motor en consumir un volumen de combustible dado por las probetas dispuestas en el taller y llevando al motor a cierto régimen de operación.
Este procedimiento se utiliza en ambos motores (Otto y Diésel).

2.1.1 Medición de combustible en motor ciclo Otto y ciclo Diésel

A continuación se explica el procedimiento de la medición de consumo de combustible.

2.1.1.1 Fase previa a la medición

Se deben tomar acciones y medidas a priori antes de realizar la medición tal como:

1. Ingresar al laboratorio con la vestimenta adecuada, esto implica uso de buzo de trabajo o delantal blanco, zapatos de seguridad y guantes, este último en caso de que sea necesario.

2. Tomar medidas de seguridad en el laboratorio, las cuales plantean el manejo y el uso de extintor en caso de incendio, primeros auxilios en caso de accidentes, etc.

3. El área de ensayo debe encontrarse limpia y ordenada.

4. Informar a los integrantes del laboratorio sobre la organización que se debe plantear para realizar un tipo de ensayo, Esta consiste en definir acciones a cada alumno en la medición, las cuales son:

- Uso del software del freno dinamométrico.
- Uso y verificación del instrumento a realizar.
- Control y revisión del estado del motor a ensayar.
- Revisión y uso de los instrumentos involucrados.
- Monitoreo y anotación de parámetros (torque, potencia, consumo, revoluciones de motor, y otros).

5. El alumno debe conocer y aplicar los componentes del laboratorio antes de realizar un ensayo, estos comprenden conocimiento de las partes del freno dinamométrico (torretas, bancada, cimentación), Uso de software de laboratorio (SAENZ, SMACMOD), conocimiento de los sistemas auxiliares, tales como sistema de refrigeración, evacuación de gases, etc.

6. Revisar todos los niveles (refrigerante, batería y aceite) de motor y evaluar su estado, para un ensayo de combustible este debe encontrarse en óptimas condiciones sin presencia de fallas de ningún tipo.

2.1.1.2 Realización del ensayo

La realización de un ensayo tiene reglas propias dependiendo del caso, en un ensayo de medición de combustible se debe cumplir con las siguientes situaciones:

- La unidad de adquisición de datos esté disponible y operativa, esto se verifica comprobando las señales de recibidas por todos los sensores involucrados con el motor a ensayar, estos son, sensor de revoluciones de motor, sensor de temperatura de agua del freno, señal de la celda de carga.
- Que exista el suficiente combustible en el depósito.
- El sistema de combustible debe encontrarse completamente estanco, es decir, sin filtraciones en las líneas.

2.1.1.3 Consejos durante el ensayo

- Es importante que el operador controle de manera precisa las válvulas de paso del freno dinamométrico para una correcta mantencion de las RPM a ensayar.
- La coordinacion entre los participantes es fundamental para realizar este ensayo de forma eficiente, de lo contrario, los resultados de consumo específico podrían estar fuera de rango (resultado de medición con un margen de error de 40% o mayor).
- El jefe de taller debe supervisar el registro correcto de datos para evitar errores en los cálculos a efectuar en el futuro.
- Siempre se debe tener en cuenta la cantidad de combustible que este disponible antes y despues del ensayo.
- En caso de cualquier accidente avisar con anticipacion al jefe de taller o al docente guía que este presente en el ensayo.
- Estar atento a los paramétros que presenta el motor (presión de aceite, temperatura del agua del motor, presión de combustible y códigos de fallas del sistema electrónico), en caso de cualquier anomalía se debe cancelar el ensayo y comenzar nuevamente hasta que sea detectada y reparada.

2.1.1.4 Fase posterior al ensayo

Una vez terminado el ensayo se debe realizar las siguientes acciones:

1. Detener el motor.
2. Cortar el suministro de combustible y de agua proveniente al freno.
3. Desconectar los instrumentos relacionados.
4. Limpiar el laboratorio.

2.2 PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN

Este proyecto tiene como objetivo actualizar los elementos utilizados en la medición de combustible del laboratorio de la carrera, en beneficio de las asignaturas vinculadas al laboratorio USM.

Los elementos que se disponen a ser montados en el laboratorio son:

-**Medidor de caudal placa orificio**: Se utiliza este medidor principalmente para fines didácticos, ya sea para que el alumno pueda relacionar el programa Smacmod con el uso de medición de combustible.

-**Medidor de flujo DFM 50**: Se selecciona este instrumento electrónico por su gran versatilidad y su elevada precisión con respecto a la medición de combustible para motores ciclo Diésel, por otro lado la universidad facilita el instrumento mientras se trabaja en este texto.

-**Balanza ACCURIS**: Se selecciona con el propósito de que el alumno conozca otra vía alternativa para medir el consumo de combustible y también para referenciar el uso de este método en frenos dinamométricos de rodillo en las revisiones técnicas de vehículos automotrices.

2.2.1 Medidor de caudal placa orificio

Este instrumento consiste en que el combustible atraviesa la placa con un paso de un orificio calibrado (Fig. 2-1), basado en el principio de Bernoulli, se restringe el caudal afectando en la presión de la línea, tal que la placa como está conectada a un dispositivo captador de la variación de presión, está la transforma en una señal de voltaje enviándola a la adquisición de datos, donde finalmente se visualiza en una computadora. Cabe mencionar que la placa orificio solo se utiliza en el caso del motor Otto del laboratorio (Mitsubishi Lancer 4G13) por motivos de adaptación en el sistema de combustible.

Fuente: Fotografía en el laboratorio de motores.

Figura 2-1. Medidor de placa orificio.

2.2.1.1 Datos técnicos

Diámetro interno paso calibrado: 3.08 [mm].

Diámetro sección tubería: 11 [mm].

Largo cañería de entrada: 39.3 [mm].

Largo cañería de salida: 109.7 [mm].

Voltaje mínimo del dispositivo: 0.1 [V].

Voltaje máximo del dispositivo: 4.9 [V].

2.2.1.2 Implementación

Recursos:

-Acoples hidráulicos de espiga 6 [mm], manguera de 6 [mm], abrazaderas, acoples hidráulicos de hilo de 6 [mm], espiga de 4 [mm] y mangueras de 4 [mm].Montaje:

Para poner en funcionamiento este instrumento de medición, se procede a realizar un procedimiento el cual permite llevar a cabo la correcta instalación del flujómetro.

-Cerrar las llaves de paso provenientes del estanque y de la probeta.

-Vaciar las líneas de combustible para no propiciar derrames.

-Tener en cuenta donde serán intervenidas las conexiones para instalar el instrumento, en este caso es montado entre la bomba y el primer filtro que posee el circuito de combustible del motor Mitsubishi.

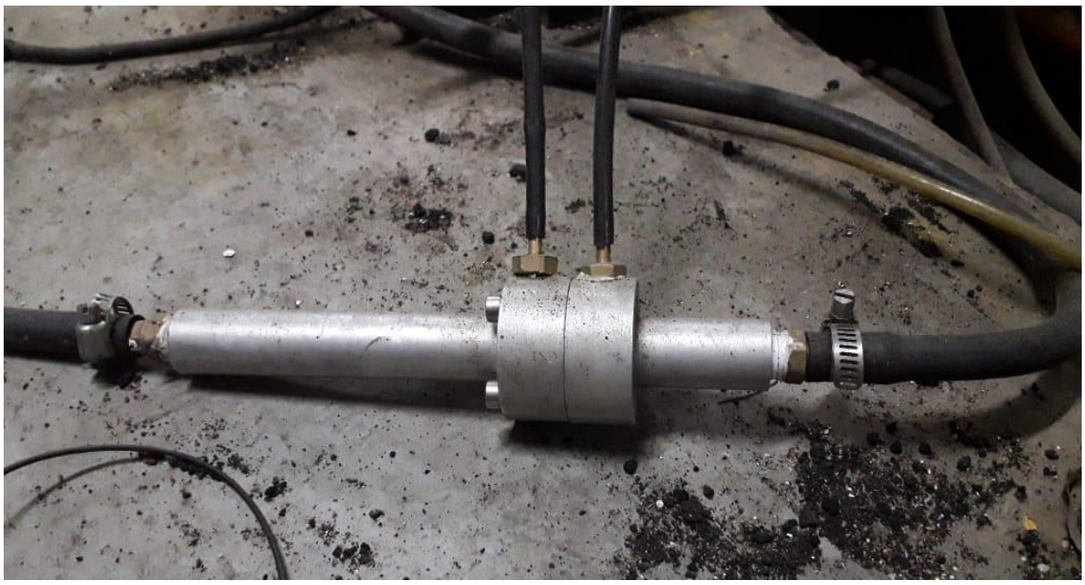
-Soltar las mangueras dispuestas entre la bomba y el filtro.

-Conectar las mangueras al cuerpo del flujómetro y ajustarlas con la ayuda de las abrazaderas para prevenir fugas durante el funcionamiento del motor, tener presente que el medidor posee una sola posición en la cual el fluido ingresa por el conducto más corto y sale por el conducto más largo (Fig. 2-2).

-Una vez conectado el cuerpo del medidor de placa, debemos conectar las mangueras de presión al dispositivo codificador que envía la señal de voltaje (Fig. 2-3).

-Abrir la llave que viene del estanque y purgar el sistema.

-Poner en marcha el motor y chequear que no exista ninguna fuga.



Fuente: Fotografía en el laboratorio de motores.

Figura 2-2. Medidor de placas montado.

Fuente: Fotografía en el laboratorio de motores.

Figura 2-3. Dispositivo generador de la señal que trabaja en conjunto con el elemento de medición.

2.2.1.3 Método de uso

Este medidor de flujo, se encarga de manera automática en registrar los valores de caudal que indican las lecturas durante la realización de las pruebas de consumo. Gracias a que el dispositivo de codificación de señal del instrumento va conectado al sistema de adquisición de datos del freno dinamométrico, esto permite que los datos tomados por la placa orificio sean graficados al instante junto a los datos de potencia y torque.

Este método permite a los alumnos, que son los operadores más recurrentes, centrarse más en otros aspectos que requieran más atención.

2.2.1.4 Configuración del software

Para que el medidor de placas funcione correctamente y entregue los datos de buena forma, es necesario, traducir la señal de voltaje que entrega el dispositivo captador del medidor de placas a una unidad de caudal, en el software que está en el laboratorio de motores.

Para esta calibración, se contacta a la empresa Sáenz quien desarrolla el freno dinamométrico junto el software Smacmod, con el fin de recibir la información requerida, en este caso la fórmula, para traducir el voltaje que envía el dispositivo, en una unidad de caudal.

Al darse la información, Sáenz se dispuso a ayudar en el proceso y calibrar el instrumento para su funcionamiento.

Para esta conexión se descarga el programa TEAMVIEWER, el cual permite controlar un computador desde otro por medio de internet. En este caso, se controla el computador presente en el laboratorio para realizar la configuración remota desde las instalaciones de Sáenz.

Los pasos para traducir esta señal son:

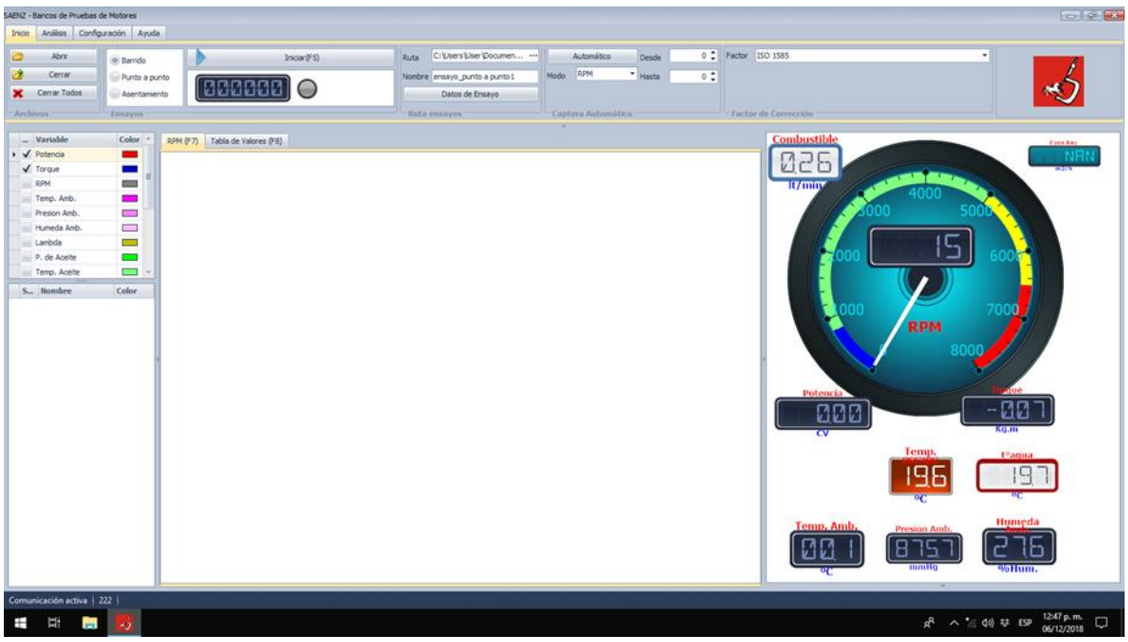


Figura 2-4. Ventana de inicio del programa Sáenz.

1) Al entrar al programa (Fig. 2-4), aparece la página de inicio del software. Ir a las opciones que se encuentran en la parte superior izquierda y seleccionar configuración.

2) Luego de hacer click en el ítem de configuración, aparecen distintos ítems los que permiten manipular y variar parámetros que el personal desee.

3) En este caso se desea configurar el nuevo sensor, para lo que se tiene que hacer click en el ítem de sensores (Fig. 2-5).

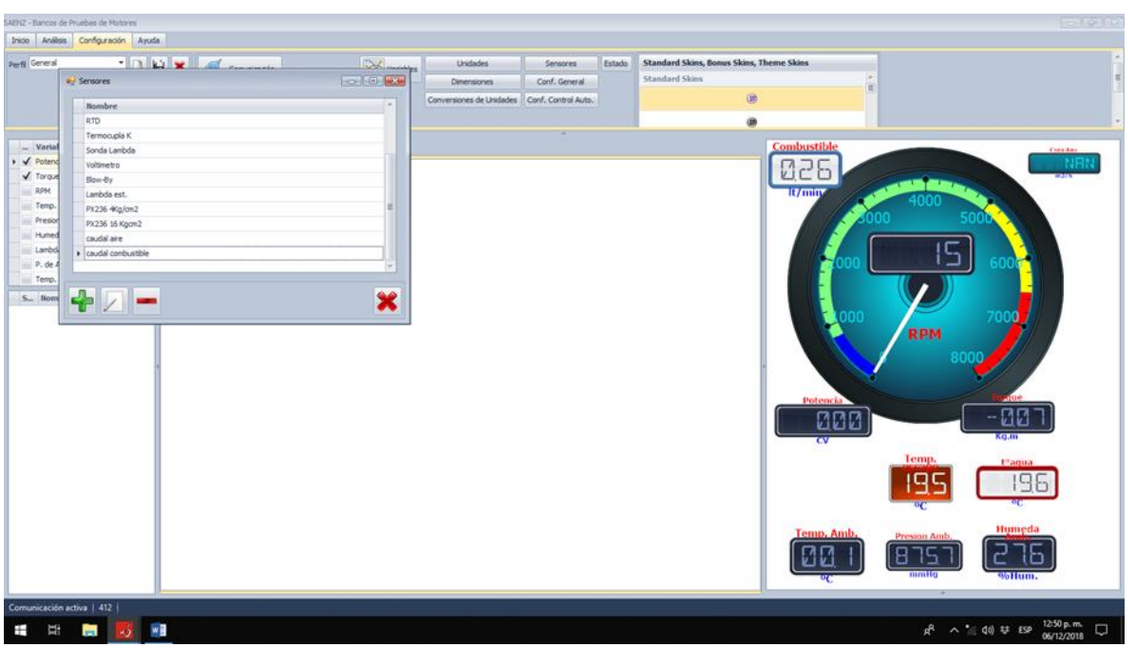


Figura 2-5. Ítem de sensores.

4) Luego de hacer click en el ítem de sensores, aparece un listado de los sensores dispuestos en el motor que se encuentra adosado al freno, en este caso se agrega el sensor caudal de combustible. Para modificar cualquier sensor del listado, se utilizan las opciones que están en la esquina inferior izquierda de la ventana. Siendo las opciones de añadir, editar y quitar con sus respectivos iconos (Fig. 2-6).

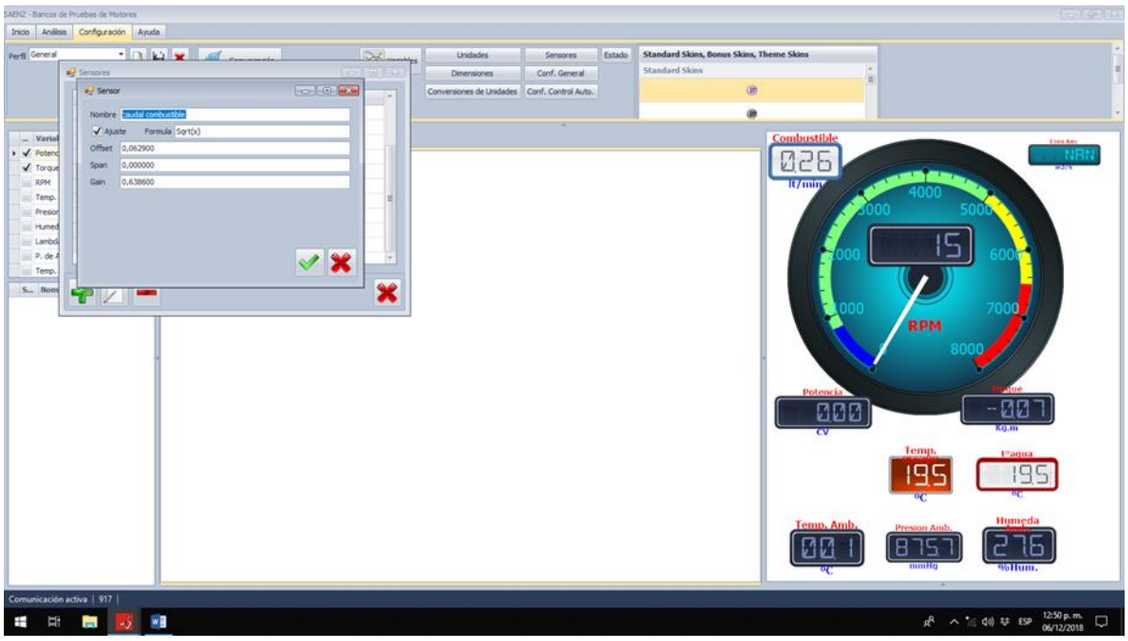


Figura 2-6. Ítem configuración de sensor.

5) Al agregar cada sensor se debe colocar su respectiva fórmula, la cual permite traducir la señal de voltaje a la unidad de medida que se requiere. La imagen muestra el sensor que se implementa.

La fórmula es la siguiente:

8. $$srqt\ (x) = valor\ expresado\ en\ mV$$

La fórmula está configurada por parámetros de Sáenz.

6) Una vez creado el sensor se debe ir al ítem de variables, el cual muestra las señales de voltaje para los distintos sensores (Fig. 2-7).

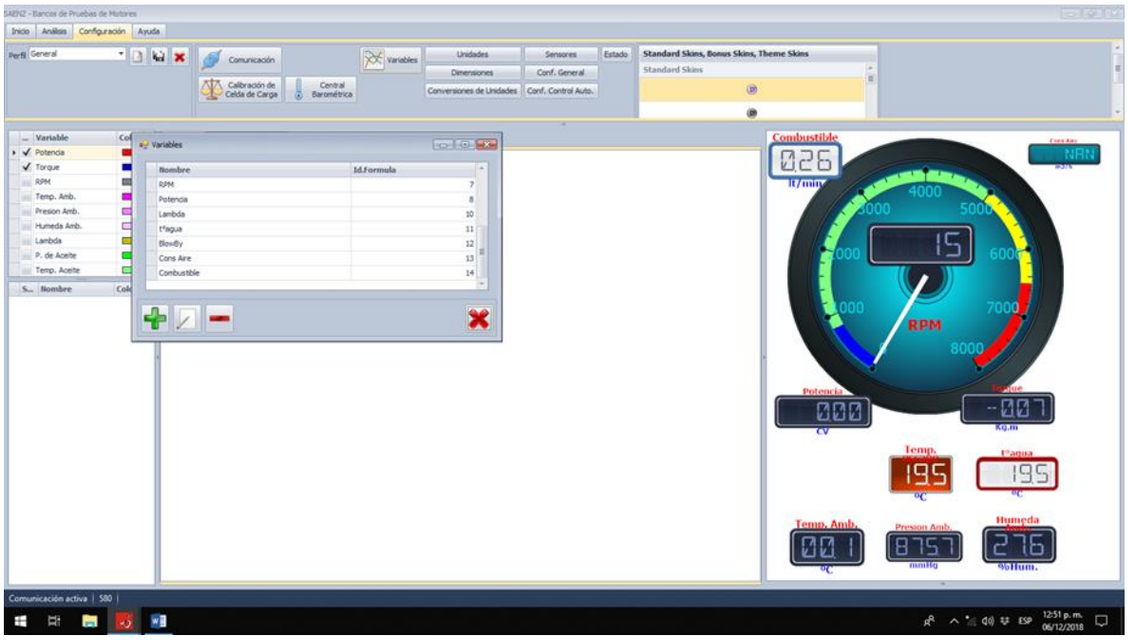


Figura 2-7. Ítem de variables.

7) En el ítem de variables aparece un listado de los distintos parámetros que el software está midiendo, al igual que en la ventana anterior, también se tiene opciones de agregar, editar y quitar algún parámetro que se desee. En este caso se agrega la variable requerida para la medición de combustible (Fig. 2-8).

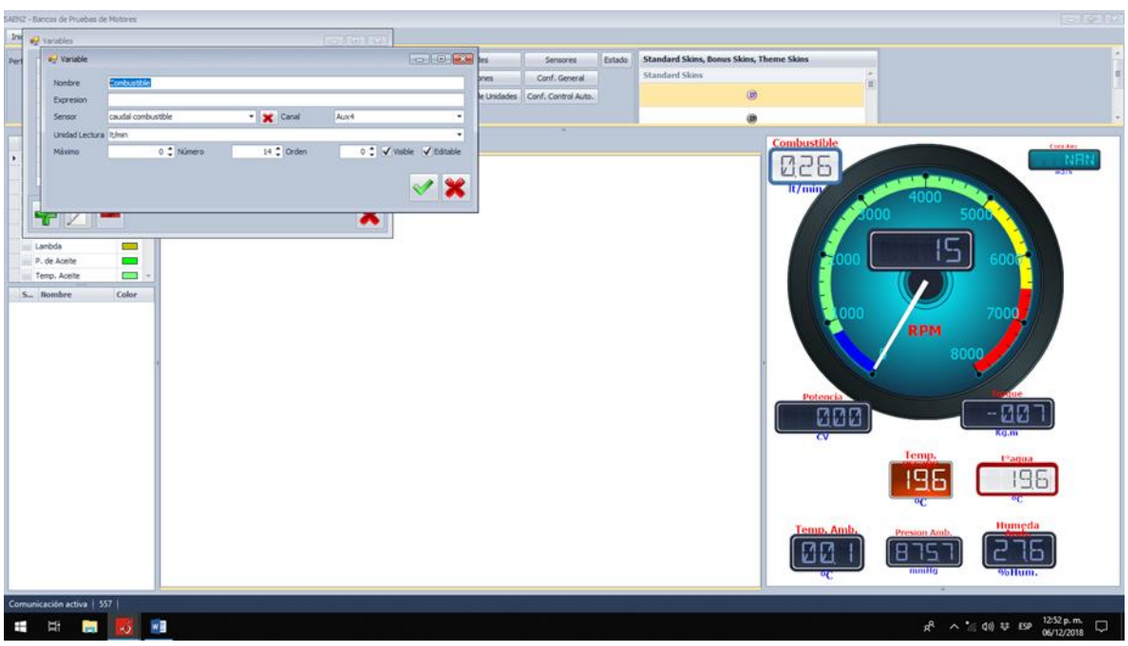
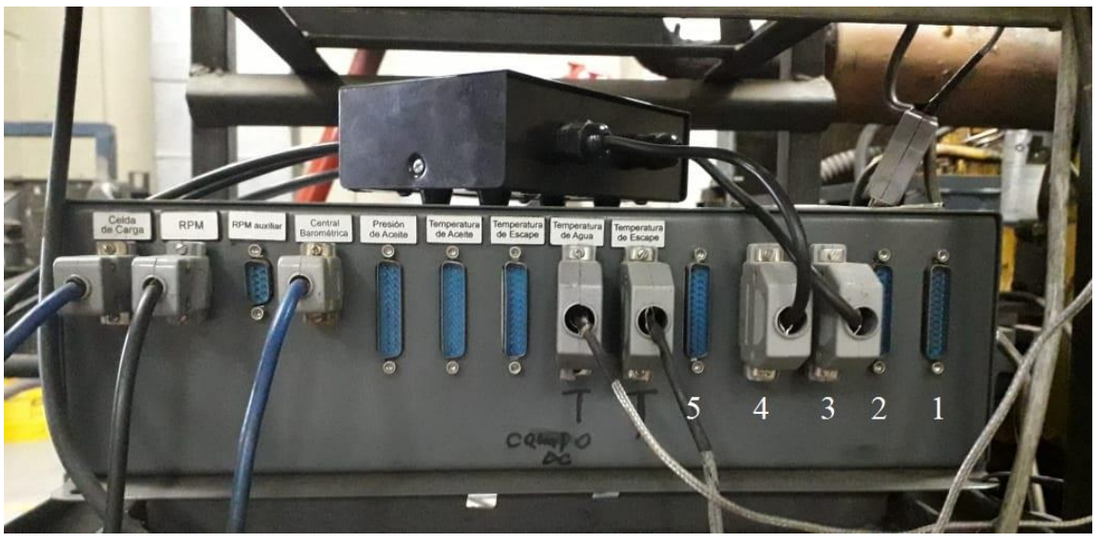


Figura 2-8. Ítem configuración de variable.

8) Al momento de ser creada la variable se debe ligar al sensor que se había creado previamente, para así, el voltaje que llega al software sea traducido con la fórmula del sensor. Posteriormente se le debe asignar una entrada auxiliar, la cual será en la que esté

conectado el dispositivo recopilador del medidor de placas, en este caso, la entrada auxiliar N°4 (Ver Fig. 2-9).



Fuente: Fotografía en el laboratorio de motores.

Figura 2-9. Localización de la toma auxiliar de la adquisición de datos.

9) Aquí se puede apreciar la conexión entre el dispositivo recolector del medidor de placas y el canal auxiliar N°4 del adquisidor de datos del software.

2.2.2 Flujómetro DFM 50

Este medidor es de tipo magnético el cual mide el flujo de combustible mediante la inducción de un campo magnético (Fig. 2-10), por el cual pasa un fluido conductor, en este caso combustible Diésel, el cual al pasar por el campo genera una fem inducida de voltaje la que es proporcional a la velocidad del fluido, teniendo en cuenta el área de superficie por donde pasa el combustible que vendría siendo el medidor, se logra determinar el caudal.

2.2.2.1 Datos técnicos

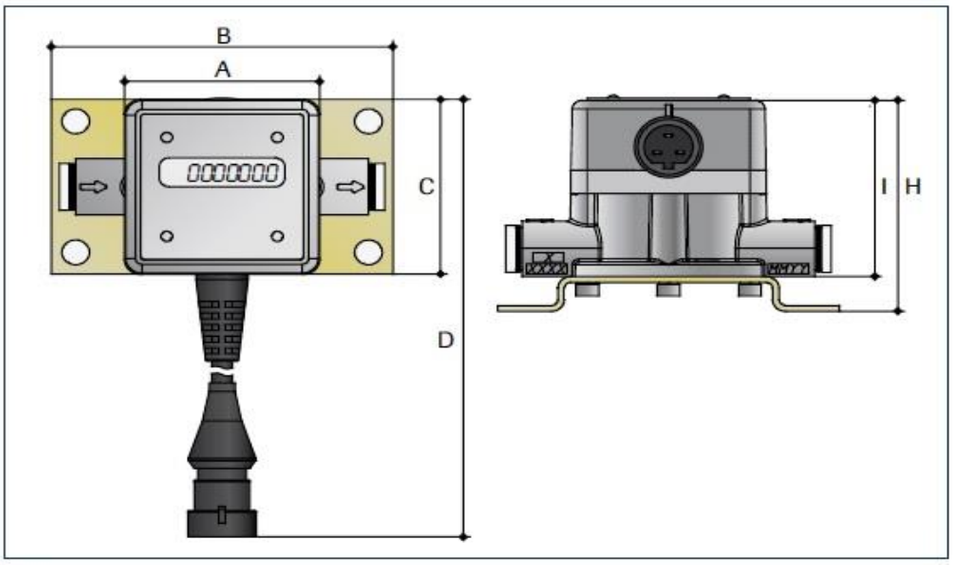
Caudal mínimo: 1 [l/h].

Caudal máximo: 50 [l/h].

Presión mínima: 2 [bar].

Presión máxima 25 [bar].

Temperatura de funcionamiento: -20 a 60 [°C].



Model	A	B	C	D	H	I
DFM-50	60	105	60	260	80	65

Fuente: Ficha técnica.

Figura 2-10. Dimensiones del medidor en [mm].

2.2.2.2 Implementación

Recursos:

Abrazaderas y Mangueras.

Montaje:

Para el montaje de este instrumento se utiliza un procedimiento similar al anterior que consta de:

-Cerrar las llaves de paso que vienen del estanque y de la probeta (ver figura 2-8).

-Drenar las líneas de combustible.

-Verificar donde será montado el medidor, en este caso debido al diseño del motor el flujómetro será conectado antes de la bomba de transferencia, puesto que, las conexiones entre el filtro y la bomba de alta presión no son propicias para la instalación del componente porque no hay forma de ser adaptado. Sin embargo, la disposición del medidor antes de la bomba de transferencia no es un factor que afecte de manera considerable en el consumo real del motor, ya que, el retorno de la bomba de alta presión es reinserto en la línea para que este se consuma.

-Proceder a intervenir las líneas, previamente drenadas.

-Tomar las precauciones necesarias al momento de instalar el flujómetro.

-Instalado el equipo proceder a purgar el sistema de combustible.

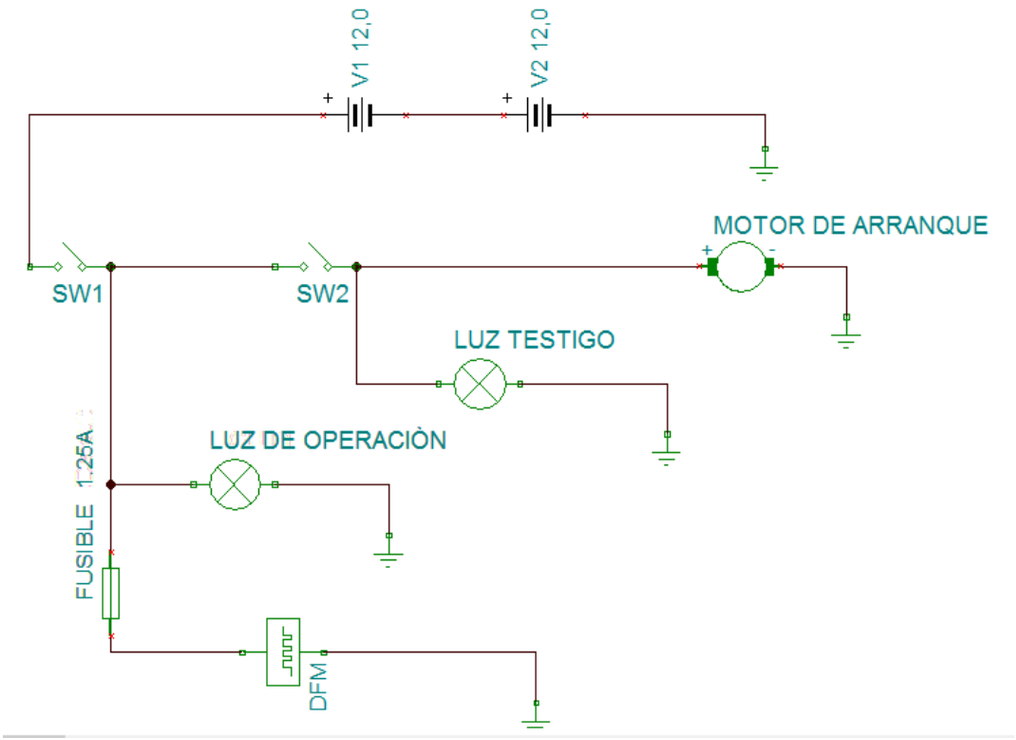
-Poner en marcha el motor para chequear si el montaje fue el apropiado.

El flujómetro funciona con 12 [VDC] por lo que es necesario realizar una conexión eléctrica en el freno, para ello se interviene la chapa de contacto que está adaptada dentro del laboratorio, la que permite comandar el motor desde la sala de operaciones.

En esta conexión se utiliza el cable de extensión que posee 3 cables voltaje de batería (naranjo), salida (blanco), el cual se utiliza para algún elemento externo y tierra (café) (Fig. 2-12).

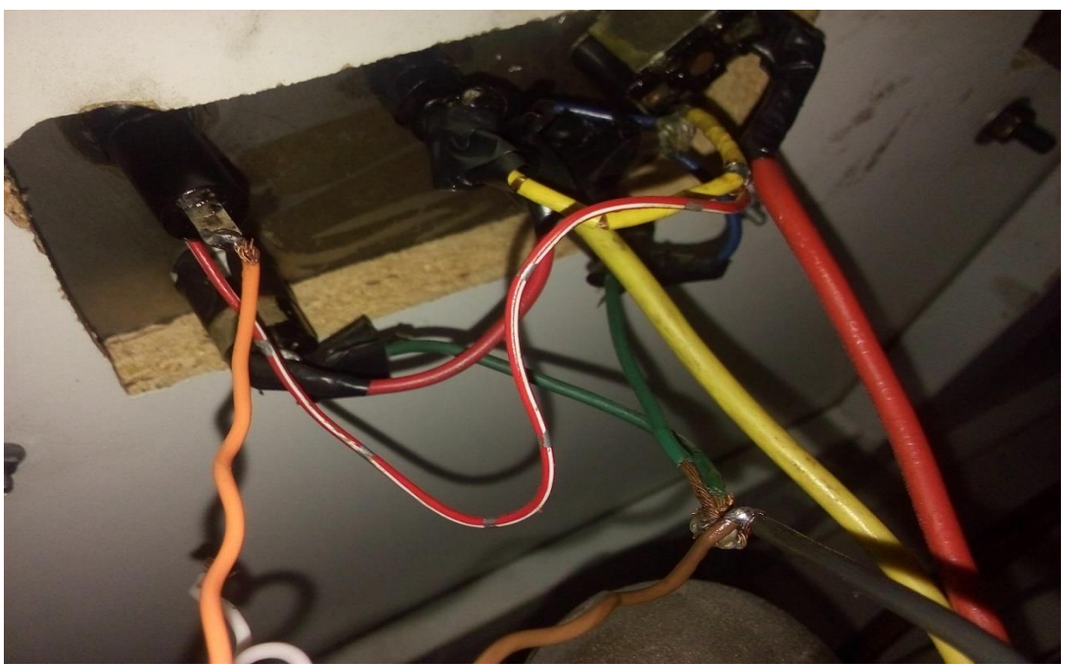
Para que el dispositivo no este encendido todo el tiempo, se conecta después del interruptor que da contacto al motor, así solo funciona cuando el motor entre en operación. Por seguridad y para proteger el dispositivo se coloca un fusible de 1.25 [A] entre el interruptor y el cable de alimentación del DFM 50 (ver circuito en la Fig. 2-11). El cable de tierra se conecta a la masa común de la chapa que se encuentra en el laboratorio. Las conexiones se realizan con soldadura de estaño para un mejor acabado y una duración más prolongada.

El dispositivo se activa con una llave magnética la cual se acerca al dispositivo para ser activado, sin esta llave el instrumento se mantiene en reposo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11. Circuito de conexión DFM 50.



Fuente: Fotografía en el laboratorio de motores.

Figura 2-12. Conexión del DFM 50 (naranjo) a la fusilera y del fusible (rojo-blanco) al cable del interruptor de contacto (amarillo).

2.2.2.3 Método de uso

Este medidor de combustible Diésel, registra los valores de medición en línea, sin embargo, a diferencia del medidor de paso calibrado (placa orificio), este no está conectado al sistema de adquisición de datos por lo que se necesita de personal para capturar la medición.

El procedimiento que se utiliza es el mismo que se usa en los otros instrumentos, se debe cronometrar durante 30 segundos el funcionamiento del motor mientras se verifica el dispositivo, es importante acercar la llave magnética constantemente para evitar que el medidor entre en estado de reposo (Fig. 2-13).

Figura 2-13. DFM 50 en estado de reposo.

1. El instrumento se activa gracias a una llave magnética o algún elemento imantado y se debe activar cada vez que se mide. El dispositivo, nos entrega 12 pantallas o mediciones las cuales se seleccionan acercando la llave al dispositivo.

2. La pantalla 1 muestra el valor total del contador de consumo de combustible (con 0.1 [l] de paso) acumulado desde la instalación de DFM 50, es decir, lleva el registro total de consumo de combustible desde su instalación (Fig. 2-14).

Figura 2-14. Pantalla N° 1 registro total de consumo de combustible.

3. La pantalla 2 muestra el valor total del contador de consumo de combustible con una capacidad de dígitos más alta (0.001 [l]), acumulado desde la instalación de DFM 50, es decir, nos entrega una información con mediciones más precisas sobre el consumo total (Fig. 2-15).

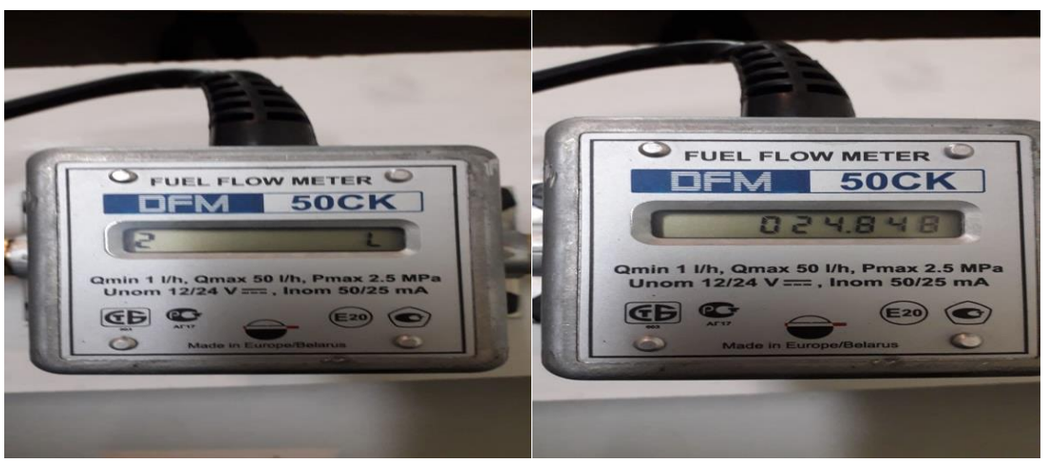


Figura 2-15. Pantalla N° 2 contador de consumo de combustible acumulado.

4. La pantalla 3 muestra el tiempo total de operación del motor incluyendo el estado de reposo (horas de funcionamiento) (Fig. 2-16).

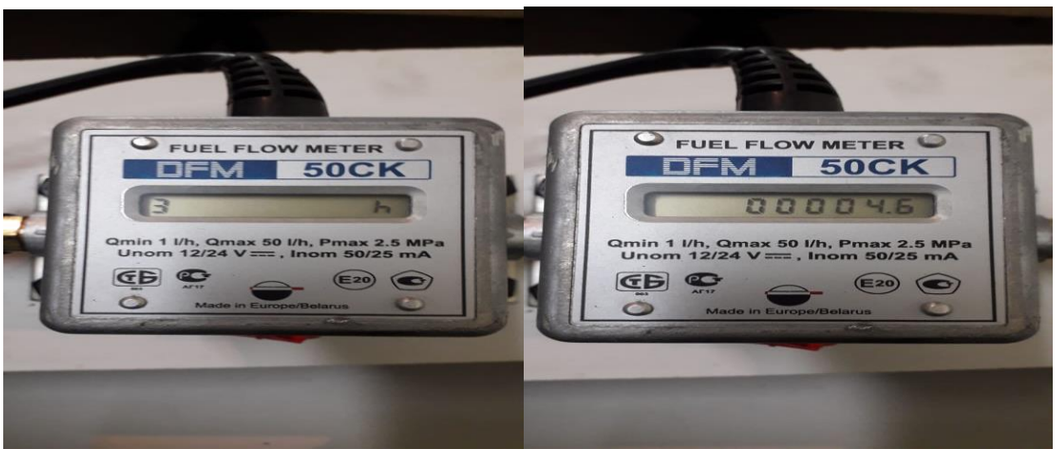


Figura 2-16. Pantalla N° 3 tiempo total de operación en horas.

5. Las pantallas 4, 5 y 6 muestran las lecturas de la operación del motor en reposo, operación óptima y en sobrecarga respectivamente.

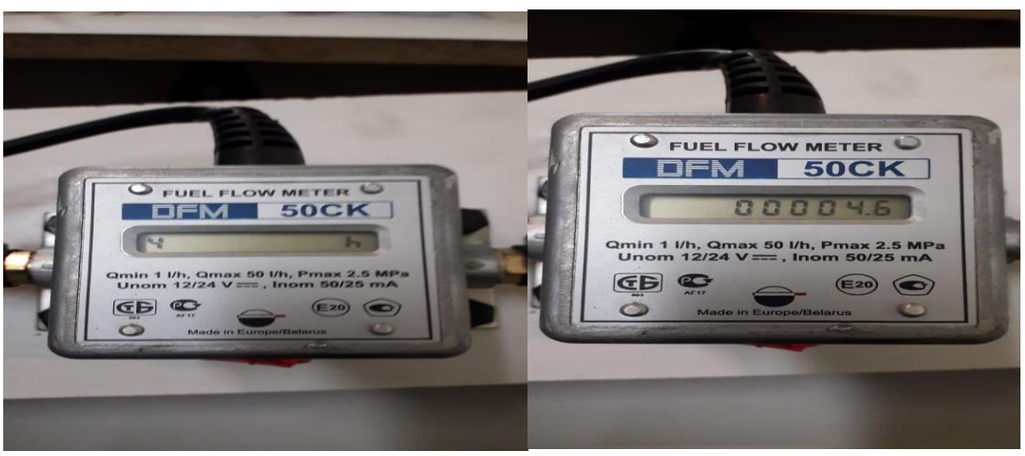


Figura.2-17. Pantalla N° 4 lectura de operación del motor en reposo en horas.

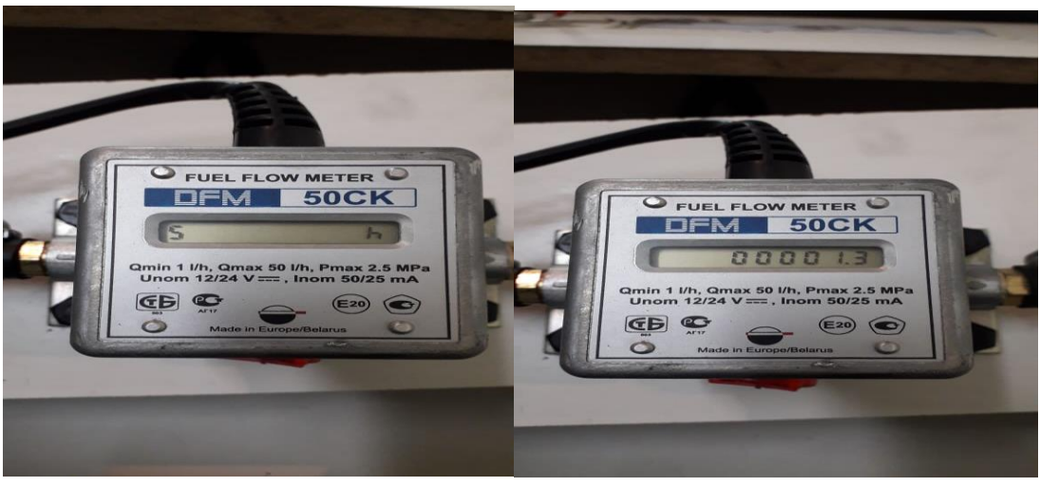


Figura 2-18. Pantalla N° 5 lectura de operación óptima del motor en horas

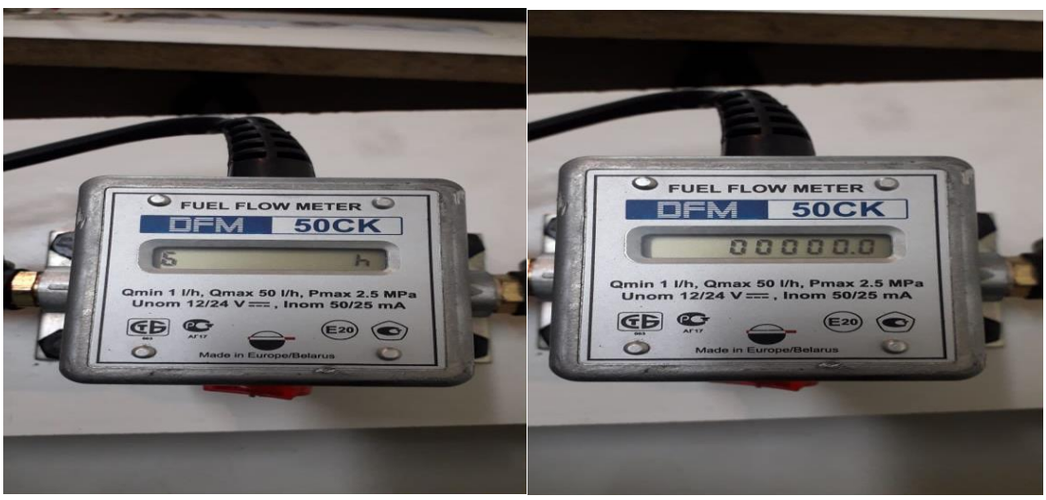


Figura 2-19. Pantalla N° 6 lectura de operación de sobrecarga del motor en horas.

6. La pantalla 7 muestra las lecturas del contador de Consumo de combustible en el modo de manipulación, es decir, un modo de seguridad cuando está siendo intervenido el dispositivo (Fig. 2-20).

Figura 2-20. Pantalla N° 7 contador de consumo de combustible en litros.

7) La pantalla 8 muestra el Tiempo de interferencia acumulado por el DFM 50, es decir, el tiempo total de exposición a factores externos (campo magnético fuerte) (Fig. 2-21). El aumento de los valores de este contador puede indicar que el medidor de flujo fue instalado cerca de una fuente de energía electromagnética.

Figura 2-21. Pantalla N° 8 tiempo de interferencia acumulado en DFM 50.

8. La pantalla 9 muestra el valor del consumo actual del motor (Fig. 2-22).

Figura 2-22. Pantalla N° 9 valor de consumo en línea del motor.

9) La pantalla 10 muestra el valor restante de la batería integrada (Fig. 2-23).

Figura 2-23. Pantalla N° 10 capacidad de batería integrada.

Nota: Cuando la temperatura ambiente es inferior a 10 [°C], la carga de la batería restante puede disminuir en un 10-30%.

10) La pantalla 11 muestra la temperatura actual en la cámara de medición del medidor (Fig. 2-24).

Figura 2-24. Pantalla N° 11 temperatura de medición.

11) La pantalla 12 muestra el volumen de combustible que hay en la cámara de medición del DFM 50 (Fig. 2-25).

Figura 2-25. Pantalla N° 12 volumen de combustible en la cámara de medición.

2.2.3 Balanza ACCURIS

Este instrumento funciona mediante la acción de la gravedad sobre el plato de carga (Fig. 2-26), una celda de carga mide la masa a partir de la fuerza que ejerce un elemento sobre el plato receptor de la carga, el resultado de esta medición aparece digitalmente en el indicador.

Figura 2-26. Balanza ACCURIS.

2.2.3.1 Datos técnicos

Resolución: 0.01 [g].

Capacidad: 500 [g].

Dimensiones: 18.8 x 28.0 x 8.0 [cm].

Pantalla: LCD.

2.2.3.2 Implementación

Recursos:

Vasos precipitados, mangueras, llaves de paso, abrazaderas, acoples tipo T y grapas.

Montaje:

Se precisa de una línea extra en el circuito hidráulico de ambos frenos dinamométricos (SAENZ y HPA). Con el fin de utilizar esta conexión a modo de cañería de combustible utilizando un recipiente (vaso precipitado) sobre la balanza como estanque.

Para el montaje en la línea de ambos frenos el procedimiento será el mismo. En este procedimiento se interviene la línea que viene desde el estanque hasta una de las llaves de paso principal que se encuentra en el laboratorio que permite alternar el uso de la probeta y el estanque. Para la conexión, se colocan dos llaves de paso, una llave en la cañería proveniente del estanque seguido de un acople tipo T, al que se conecta la segunda llave seguida de la manguera que llega al recipiente de la balanza.

2.2.3.3 Procedimiento de medición

Para medir con este sistema es necesario tener un recipiente el cual permita contener el combustible el cual será pesado y posteriormente medido.

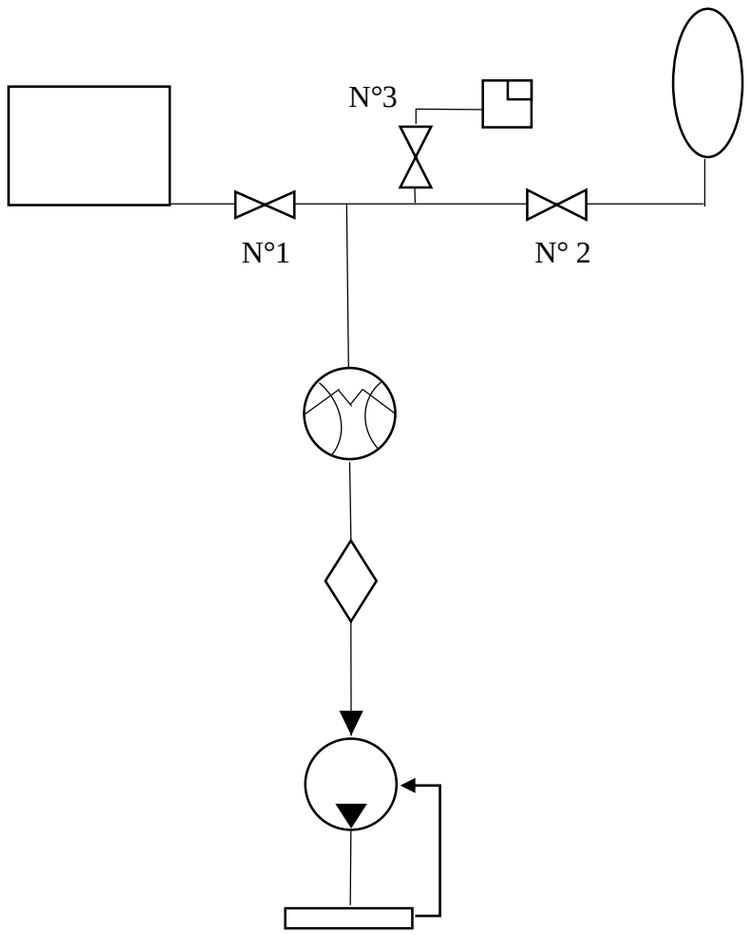
El procedimiento de operación consiste en poner en marcha el motor (realizar los pasos explicados en los puntos anteriores de la puesta en marcha del motor y operatoria previa, en ítem 2.1), colocar una cierta cantidad de combustible en el recipiente sobre la pesa, cerrar los pasos de combustibles provenientes del estanque y de la probeta. Cronometrar el tiempo que demora la prueba registrando la masa del combustible en el instante en que se empieza a cronometrar el tiempo y el instante en que se detuvo la prueba para así obtener una diferencial. El procedimiento es similar al que se utiliza en las probetas a excepción que se debe tomar registro de la balanza al inicio y al final del ensayo.

Recopilando los datos sustraídos podemos determinar el consumo de combustible del motor.

Puesto que se obtiene la cantidad de gramos que se consumen por unidad de tiempo, que vendría siendo el flujo másico el cual al ser dividido por la densidad del combustible entrega el flujo volumétrico.

2.2.4 Esquema hidráulico actualizado motor ciclo Otto

A continuación se presenta el esquema hidráulico actualizado en el laboratorio de motores (Fig. 2-27).



Fuente: elaboración propia

Figura 2-27. Diagrama hidráulico actualizado motor ciclo Otto.

Símbolos adicionales:

Medidor de placas orificio.

Balanza digital.

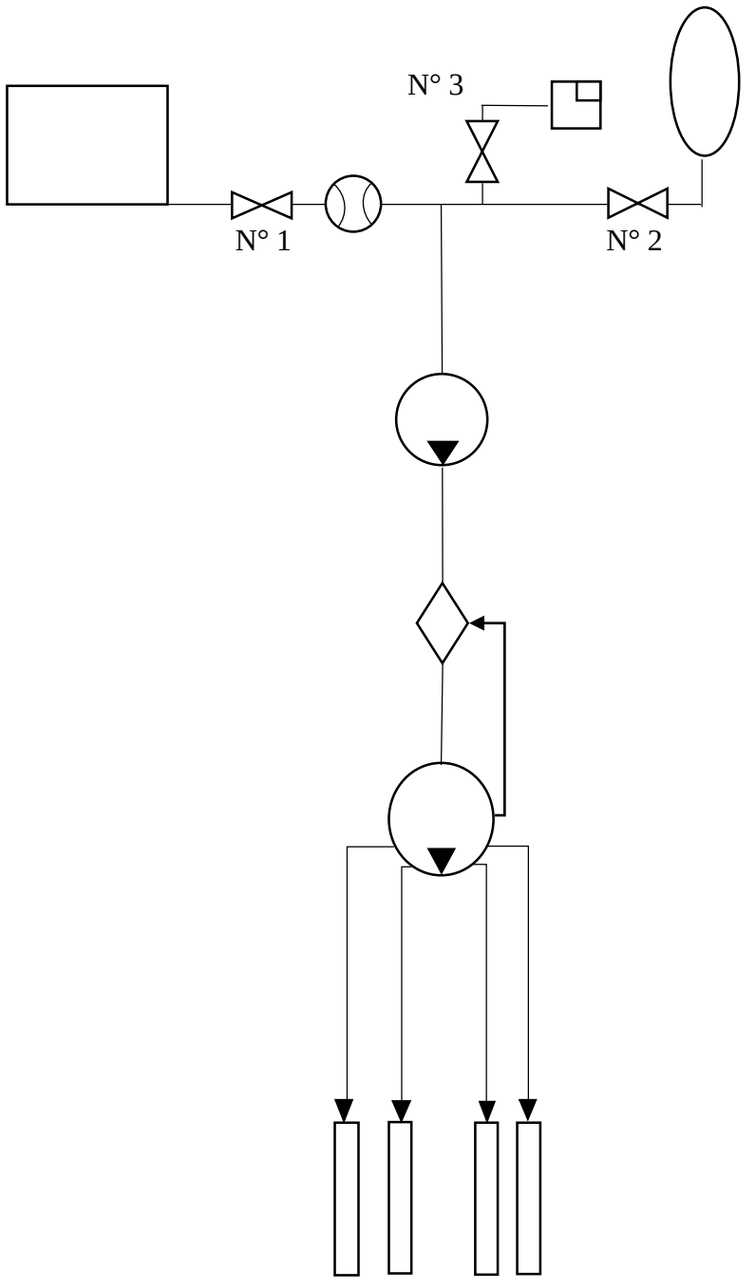
Aquí se muestra la intervención de la línea común de forma simplificada, que conecta el estanque y la probeta para implementar la balanza y la placa orificio, la cual con su llave de paso nos permite utilizar el estanque, la probeta o la balanza a voluntad.

La disposición varía en uno de los frenos por un tema de distribución de espacio debido a que las conexiones ya existentes en el laboratorio imposibilitan la misma conexión para ambos frenos.

La línea de placa orificio va conectado a la línea principal del sistema, es decir, está midiendo en todo momento el flujo de combustible que llega a la bomba lo cual posibilita la medición simultánea entre instrumentos y esta situación no se considera como requisito de funcionamiento. Al realizar ensayos con la placa se debe utilizar el combustible proveniente del estanque abriendo la válvula de paso N° 1 y cerrando las válvulas N° 2 y 3.

Para utilizar la balanza esta se encuentra en paralelo lo cual no interviene en el sistema permanentemente lo que permite usarla a voluntad de espacio. Para efectuar mediciones es necesario cerrar las válvulas de paso N° 1 y 2 para una correcta medición, como el medidor de placas se encuentra insertado en la línea principal mide el combustible proveniente de la balanza, Para esto no es necesario tenerlo en cuenta porque los datos de medición se toman de la balanza.

2.2.5 Esquema hidráulico actualizado motor ciclo Diésel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-28. Diagrama hidráulico actualizado motor ciclo Diésel.

Simboles adicionales:

Medidor DFM 50CK

Para realizar las mediciones en el motor Diésel presente en el laboratorio de motores, se utilizan llaves de paso, que se encuentran instaladas en la línea principal de combustible, estas permiten utilizar cada instrumento de medición por separado y a voluntad.

Cada llave abre paso a un elemento como muestra la Fig. 2-28. La llave N° 1 abre el paso al estanque de donde viene el combustible que mide el dispositivo DFM, la llave N° 2 abre el paso a la probeta y la N° 3 abre paso a la balanza.

La operatoria o la forma de utilizar los instrumentos es bastante sencilla, solo consiste en abrir y cerrar las llaves para utilizar cada elemento. Para utilizar DFM se debe abrir la llave N° 1 y cerrar los pasos 2 y 3, para utilizar la probeta se debe abrir la llave N° 2 y cerrar los pasos 3 y 1, y para hacer uso de la balanza se debe abrir la llave N° 3 y cerrar los pasos de 1 y 2.

La otra operación que se realiza con este sistema de llaves de paso es el llenado de combustible tanto de la probeta como de la balanza. Para llenar la probeta se debe abrir los paso proveniente del estanque (llave N° 1) y de la probeta (llave N° 2) y cerrar la llave que viene de la balanza (llave N° 3).

Para llenar la balanza el procedimiento es similar, se abren los paso del estanque y de la balanza (N° 1 y N° 3) respectivamente y se cierra el paso que viene de la probeta (N° 2). Controlando el flujo de combustible que hace ingreso a la balanza con la apertura de la llave de paso.

CAPITULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los ensayos realizados, donde se refleja los resultados de cada instrumento de medición, teniendo cada conclusión para cada uno de ellos y las observaciones respectivas.

Los datos de la placa orificio no se presentan en la tabla debido a una falla en la configuración del software Smacmod, por lo que queda a consciencia de los alumnos la realización del ensayo con este instrumento.

Los instrumentos DFM 50 y balanza Accuris son validados por la universidad antes de su inserción y su normal funcionamiento es garantizado por el fabricante.

3.1 ENSAYOS EN MOTOR OTTO

3.1.1 Datos previos

1. Valor de densidad = 0.745 [l/kg] a 20 [°C].

2. Los resultados absolutos se referencian con los resultados de la balanza digital en contraste a los valores de las probetas.

3. La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de error es la siguiente:

9. $$\%\,error = \frac{Be\ (balanza) - Be\ (probetas)}{Be\ (probetas)} * 100$$

Tabla 3-1. Datos de ensayo motor ciclo Otto

n [RPM]	Pe [kW] (probetas)	Pe [kW] (balanza)	Torque [Nm] (probetas)	Torque [Nm] (balanza)	Consumo horario másico [kg/h]	Consumo horario másico [kg/h]	Consumo horario líquido [l/h] (probetas)	Consumo horario líquido [l/h] (balanza)	% de error de probetas	Consumo específico [g/kWh] (probetas)	Consumo Específico [g/kWh] (balanza)
1000	7.76	7.56	76.43	75.51	2.86	2.39	3.84	3.21	14.22	368.56	316.14
1500	12.87	13.67	78.05	85.42	4.69	4.47	6.29	6	10.27	364.41	326.99
2000	21.15	19.67	78.05	93.85	5.88	5.50	7.89	7.38	0.57	278.01	279.61
2500	25.22	26.22	94.34	94.44	8.02	7.54	10.76	10.12	9.56	318	287.57
3000	31.57	32.48	97.48	83.06	9.58	9.42	12.86	12.64	4.42	303.45	290.02
3500	37.95	34.72	100.42	90.61	11.03	10.50	14.80	14.09	4.05	290.65	302.42
4000	42.03	41.45	95.44	88.36	12.62	12.46	16..94	16.72	0.11	300.26	300.60
5000	49.06	48.34	93.55	81.39	16.66	16.46	22.36	22.08	0.25	339.58	340.43
6000	44.92	45.78	88.49	81.69	18.25	19.16	24.50	25.70	2.99	406.28	418.45

3.1.2 Observaciones de ensayo

1. Se observa que en cada medición existe un desfase de RPM con respecto al valor entregado en la tabla. Por otra parte al momento de obtener los segundos en el cual se consume combustible, esta se dificulta al aumentar las revoluciones.

2. Debido a la precisión de la balanza, se extraen datos mucho más cercanos. El instrumento se desempeña bien, es bastante práctico de manipular y ayuda significativamente a la implementación del laboratorio.

3. En bajas revoluciones, es decir, desde 0 a 1500 RPM el valor del consumo específico de las probetas es donde presenta el mayor porcentaje de diferencia.

4. En algunas revoluciones se redondea los valores de consumo específico, ya que los valores de potencia y RPM del software saenz no son exactas.

5. A partir de 3500 a 5000 RPM el % de error de las probetas comienza a bajar a causa de que aumenta el rango de la medición de 0 a 250 [cc], facilitando la medición en comparación con el rango de 0 a 125 [cc] a inferiores revoluciones.

6. Para facilitar el ensayo de probetas es importante que exista un cronómetro dedicado en el laboratorio para mayor comodidad y precisión en los resultados.

3.1.3 Conclusiones

Dada las observaciones anteriores, la medición de probetas se dificulta a medida que aumentan las RPM del motor, si bien los valores son cercanos entre sí, estos pierden confiabilidad para un estudio determinante en caso de que sea necesario. El hecho de que el instrumento de medición de probetas exista en la universidad se fundamenta para demostraciones didácticas.

A pesar de la precisión del instrumento, los resultados no son exactos debido a las irregularidades en las revoluciones del motor, puesto que, el freno dispuesto en el establecimiento se encuentra conectado a la red sanitaria, lo que impide un control estable en cada rango de operación que se necesita para los respectivos ensayos.

Con respecto a los resultados que se obtienen mediante la actualización de instrumentos en el laboratorio de motores, se concluye que existe una leve variación en comparación a la medición de probetas.

1. De acuerdo a la tabla, a 1000 RPM la medición por probetas demuestra su mayor diferencia porcentual de un 14.22% (representado como margen de error) con respecto a la medición por balanza digital. Esto se debe a las grandes fluctuaciones que existen en el motor cuando está en ralentí, agregando también que la temperatura del motor es baja y esto dificulta el hecho de mantener las revoluciones con la carga del freno dinamométrico.

2. La medición de probetas a 3000 RPM representa una diferencia porcentual de 9.56% una menor diferencia comparada con el caso anterior pero que sigue siendo significativa.

3. La medición de probetas a 5000 RPM muestra una diferencia porcentual de 2.99% en comparación a la medición con balanza digital. Este porcentaje de error tiende a subir a partir de esta revolución a causa de que la velocidad en el cual fluye el combustible en la probeta es imperceptible para la visión del asistente que está registrando el resultado.

Se concluye finalmente que no es recomendable utilizar la medición de probetas a bajas y altas RPM debido al gran margen de error que se obtiene en los resultados. Si bien se pueden utilizar para una estimación de los resultados no se confía para un estudio de mayor precisión.

3.2 ENSAYOS EN MOTOR DIÉSEL

3.2.1 Datos previos

1. Valor de densidad = 0.840 [l/kg] a 20 [°C].

2. Los resultados absolutos se referencian con los resultados de la balanza digital en contraste a los valores de las probetas.

3. La fórmula N° 9 es utilizada para calcular el porcentaje como en el ensayo de motor Otto.

Tabla 3-2. Datos de ensayo motor ciclo Diésel

n [RPM]	Pe [kW] (Probetas)	Pe [kW] (Balanza)	Pe [kW] (DFM 50)	Torque [Nm] (Probetas)	Torque [Nm] (Balanza)	Torque [Nm] (DFM 50)	Consumo horario másico [kg/h]	Consumo horario másico [kg/h]	Consumo horario másico [kg/h]
750	22.41	22.65	20.80	282.43	260.20	260.50	3.09	3.49	3.29
1000	31.56	30	30.56	322.83	304	281.56	9.08	7.08	9.04
1500	55.55	53	52.45	328.62	313.81	320.37	12.22	9.90	12.59
1800	63.59	60	58.54	299.97	284.39	234.34	13.48	12.28	12.60
2300	52.33	53.46	51.93	206.82	209.30	207.35	15.91	-	12.92

n [RPM]	Consumo horario líquido [l/h] (probetas)	Consumo horario líquido [l/h] (balanza)	Consumo horario líquido [l/h] (DFM 50)	% de error de probetas	% de error DFM 50	Consumo específico [g/kWh] (probetas)	Consumo específico [g/kWh] (balanza)	Consumo específico [g/kWh] (DFM 50)
750	3.67	4.15	3.9	22.72	2.59	199.46	154.08	158.17
1000	10.81	8.43	10.77	17.86	20.1	287.71	236.33	295.81
1500	14.54	11.79	14.9	15.08	26.88	219.98	186.79	240.03
2000	16.04	14.61	15	9.72	5	186.35	204.47	215.24
2300	18.95	-	15.3	-	-	304.03	-	248.79

3.2.2 Observaciones de ensayo

1. Existe una demora importante al momento de registrar el valor del tiempo en el cual se efectúa el consumo debido a la gran velocidad que fluye el combustible por la probeta.

2. Al momento de mantener el motor a una determinada RPM resulta complejo mantenerlo con las cargas del freno dinamométrico, esto es debido a que el motor solo mantiene regímenes estables en mínimas y máximas RPM configurado mecánicamente por el fabricante.

3. El DFM 50 funciona bien, el inconveniente que presenta es que se tiene que encender la pantalla del aparato acercando la llave magnética o un imán del que se dispone en el laboratorio reiteradamente para llevar constancia de la medición lo que dificulta el proceso.

4. La balanza digital se desempeña bien en la función, aún se sigue dependiendo de suma coordinación de parte de los operadores en tanto a cronometrar las mediciones, pero es un elemento el cual cubre satisfactoriamente las necesidades de los ensayos a realizar en el laboratorio.

3.2.3 Conclusiones

1. Se concluye que el método de probetas ensayo para este motor no es eficaz con respecto a la medición de combustible por las siguientes razones:

A) Existe una desviación de un 20% del resultado entregado comparado con un instrumento electrónico, esto se debe principalmente al retraso que existe en el momento de registrar la medición.

B) El dispositivo DFM 50 tiene una medición asertiva o similar junto a la balanza excepto en regímenes intermedios donde se pierde la estabilidad del motor. Se reitera la manipulación del freno, los ensayos son satisfactorios en tanto a lo que es procedimiento demostrativo de medición, por otro lado, no es lo más deseado en el ámbito de la precisión debido a las características del motor el que impide mantener revoluciones estables en los distintos rangos de RPM.

2. La balanza digital es el elemento más acertado en tanto a las mediciones de combustible, o lo más cercano a los valores teóricamente hablando gracias a la precisión con la que cuenta el elemento, no obstante, debido a las características del motor y del freno no es

posible obtener los valores reales del desempeño del motor, ya que, la manipulación de este se complica al mantener un rango de RPM dado.

3. Con respecto a la medición a 1000 RPM las probetas presentan una diferencia porcentual de un 22.72% con respecto a la balanza digital y un 20.70% con respecto DFM 50 lo cual se concluye que el uso de probetas no es útil en bajos regímenes.

4. La medición a 1500 RPM las probetas presentan una diferencia de 9.11% con respecto a DFM 50 y un 15.08% con respecto a la balanza digital. La diferencia de valores en cada uno de los instrumentos se debe principalmente a la dificultad de mantener el motor a 1500 RPM con respecto a la carga que se le ejecuta, por lo tanto, el valor más verosímil es del instrumento DFM 50 debido a los resultados constantes en todas sus revoluciones de dicho motor.

3) En la medición de 2000 RPM las probetas presentan margen de error de 15.50% con respecto a DFM 50 y un 9.72% en comparación con la balanza digital.

Se visualiza que el margen de error de las probetas se presentan en toda la gama de revoluciones con respecto a los otros instrumentos, a consecuencia de esto se recomienda utilizar tanto el instrumento DFM 50 como la balanza digital para un estudio más eficiente de laboratorio de motores gracias a su homogeneidad en sus resultados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓNES

Con la realización de este trabajo se da entender la importancia de la actualización tecnológica que necesita el laboratorio de motores para adaptarse a las necesidades y a la solución de problemas que presenta la sociedad hoy en día. Por una parte se mejora la determinación del consumo específico con los instrumentos insertados y se concluye que el uso de probetas solo es útil para fines demostrativos o didácticos.

Mediante los ensayos realizados se demuestra la utilidad de la balanza digital para una mejor determinación del consumo específico, lo cual este valor permite profundizar más en los contenidos de la asignatura y utilizarlo como fuente para ensayos más complejos en el laboratorio.

Se recomienda cambiar el motor PERKINS del laboratorio por un motor más actual a causa de la configuración mecánica de revoluciones no permite obtener resultados confiables en ensayos, por otro lado el mantenimiento se complica debido a la antigüedad de dicho motor. A costa del cambio de dicho motor se podrá evaluar de mejor forma la utilidad de DFM 50 y un mejor estudio del consumo de combustible en un motor Diésel.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAHAMONDES SM, GLASNER CL. Manual teórico y práctico de apoyo a la docencia de la asignatura de laboratorio de motores. 1979.
2. MOTT RL. *Mecánica de Fluidos*. 6th ed. (Pearson education, ed.). México; 2006.
3. GIACOSA D. *Motores Endotérmicos*. 3rd ed. (Omega, ed.). Barcelona; 1988.
4. OBERT EF. *Motores de Combustión Interna Análisis y Aplicaciones*. 2nd ed. (Continental C editorial, ed.). México: Universidad de Wisconsin; 1999.
5. Daewoo Motors CO LTD. Service Manual Matiz. 2001.
6. Ssangyong Motor CO LTD. Service manual Ssangyong. Korea. 2010.
7. Flowmeters L. BRONKHORST. <www.bronkhorst.com>. Published 2018.
8. Flowmeters. MCCROMETER. <www.mccrometer.com>. Published 2018.
9. X-engineer. Internal combustion performance. https://x-engineer.org. Published 2018.
10. Institute of tecnology Massachusetts. Internal combustion engine. http://web.mit.edu/. Published 2018.
11. Shenzhen Mindray Bio-Medical electronics CO. Manual del operador Sáenz. 2012.

ANEXO 1: PRESUPUESTO

Los costos asociados a la actualización de la medición de combustible, se muestran en la siguiente tabla:

Costos de instrumentos	
Nombre de instrumento	**Precio CLP**
Balanza digital	266.000 + IVA
DFM 50	500.000 + IVA
Placa orificio	120.000 + IVA
Receptor de señal de placa orificio	50.000 + IVA

Costos de insumos	
Insumos	**Precio CLP**
Combustible gasolina	12.000
Combustible Diésel	9000
Paños de limpieza	5000

Costos de repuestos	
Repuestos	**Precio CLP**
Abrazaderas metálicas	5500
Amarras plásticas	2000
Adaptadores de placa orificio	14.000
Mangueras de 6 [mm]	12.000

Costos de mano de obra	
Costo de personal	**Precio CLP**
Mantenimiento al motor MITSUBISHI 4G13	15.000
Mantenimiento al motor PERKINS	30.000
Implementación de instrumentos en el laboratorio	40.000

Gastos extraordinarios	
Gastos	**Precio CLP**
Envíos	12.000
Pasajes	9000

Costos totales	
Costo	**Precio CLP**
Instrumentación	936.000
Insumos	26.000
Repuestos	33.500
Mano de obra	85.000
Gastos extraordinarios	21.000
Total	1.101.500

ANEXO 2: CÁLCULO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MOTORES MEDIANOS

Cálculo de consumo horario mínimo:

Datos:

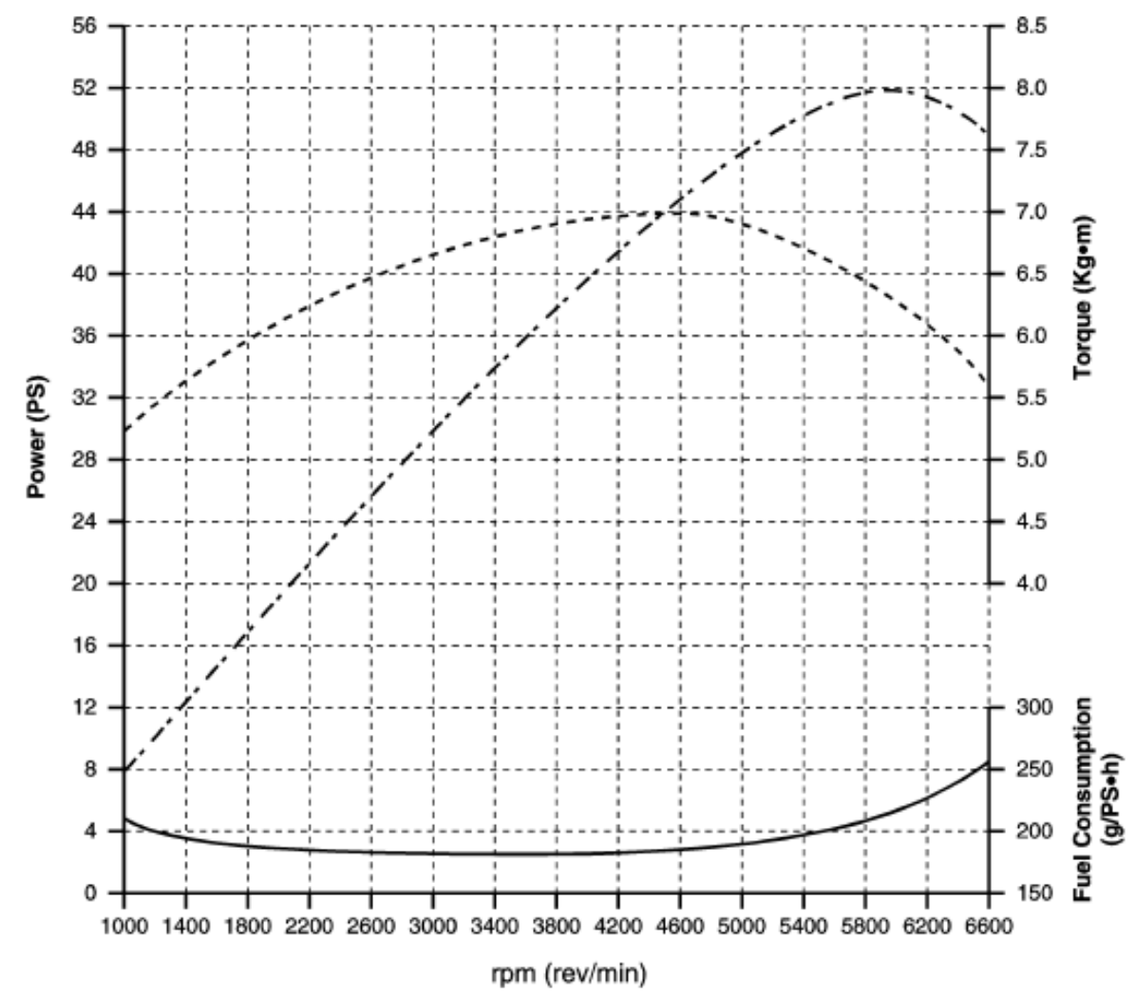
Cilindrada: 796 [cc].

Máxima potencia: 37.5 [kW] @ 6000 [RPM].

Máximo torque: 68.6 [Nm] @ 4600 [RPM].

Relación de compresión: 9.3:1 [-]

Curva característica.



Resolución:

1) Se establece el valor de 1400 [RPM] como el valor de referencia para el cálculo de consumo horario mínimo, ahora en la curvas características se toma los valores de potencia y consumo específico correspondientes al régimen estipulado. Tales valores son 12 [CV] y 180 [g/CV*h].

2) Se aplica la conversión de 180 [g/CV*h] a 0.180 [kg/CV*h].

3) Al aplicar la fórmula N° 4 se determina el consumo horario:

$$Be = \frac{B}{Pe}$$

$$B = 0.180 \left[\frac{kg}{CV * h}\right] * 12\ [CV]$$

$$B = 2.16 \left[\frac{kg}{h}\right]$$

4) Al realizar la conversión de [kg/h] a [g/s] se obtiene:

$$2.16 \left[\frac{kg}{h}\right] * \frac{1000\ [g]}{1\ [kg]} * \frac{1\ [h]}{3600\ [s]} = 0.6 \left[\frac{g}{s}\right]$$

Se obtiene 0.6 [g/s] que corresponde al valor mínimo de consumo de combustible en masa estimado para motores medianos en el laboratorio de motores.

Por otro lado se mide la densidad del combustible gasolina y se obtiene un valor de 0.748 [kg/l].

5) Con este valor se calcula el valor de consumo en volumen, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$B = 3.6 * \frac{\Delta V}{\Delta t} * \rho c$$

Se informa al lector que el valor 3.6 en la formula corresponde a un factor de conversión.

6) Al resolver la ecuación se obtiene:

$$2.16 \left[\frac{kg}{h}\right] = 3.6 * \frac{\Delta V}{\Delta t} * 0.748 \left[\frac{kg}{l}\right]$$

Al despejar ΔV/Δt.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 0.8 \left[\frac{ml}{s}\right]$$

7) Al obtener 0.8 [ml/s] se realiza la conversión a [l/h]

$$0.8 \left[\frac{ml}{s}\right] * \frac{1\ [l]}{1000\ [ml]} * \frac{3600\ [s]}{[h]} = 2.88 \left[\frac{l}{h}\right]$$

Al obtener el valor 2.88 [l/h] se referencia como el valor mínimo de consumo exigido por un instrumento para uso de laboratorio en aplicaciones de motores medianos.

Cálculo de consumo horario máximo:

Datos:

1) En este trabajo de título se permite como referencia el valor de 6600 [RPM] para determinar el consumo máximo aproximado en volumen que puede medir un instrumento en el laboratorio de motores en un motor mediano con una potencia de 50 [CV].

2) El valor de consumo específico del motor HB en la curva característica en vez de 255 [g/CV*h] (valor presentado por el fabricante) se cambia a un valor de 400 [g/CV*h] para abarcar una mayor gama de motores dependiendo de su cilindrada.

Resolución:

1) Se aplica la conversión de 400 [g/CV*h] a 0.40 [kg/CV*h].

2) Al aplicar la fórmula N° 4 se determina el consumo horario:

$$Be = \frac{B}{Pe}$$

$$B = 0.40 \left[\frac{kg}{CV * h}\right] * 50\ [CV]$$

$$B = 20 \left[\frac{kg}{h}\right]$$

3) Al realizar la conversión de [kg/h] a [g/s] se obtiene:

$$20 \left[\frac{kg}{h}\right] * \frac{1000\ [g]}{1\ [kg]} * \frac{1\ [h]}{3600\ [s]} = 5.56 \left[\frac{g}{s}\right]$$

Se obtiene 5.56 [g/s] que corresponde al valor máximo aproximado de consumo de combustible en masa para motores medianos.

4) Al aplicar la ecuación de consumo horario:

$$B = 3.6 * \frac{\Delta V}{\Delta t} * \rho c$$

$$20 \left[\frac{kg}{h}\right] = 3.6 * \frac{\Delta V}{\Delta t} * 0.748 \left[\frac{kg}{l}\right]$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 7.43 \left[\frac{ml}{s}\right]$$

Al obtener 7.43 [ml/s] se realiza la conversión a [l/h]

$$7.43 \left[\frac{ml}{s}\right] * \frac{1\ [l]}{1000\ [ml]} * \frac{3600\ [s]}{[h]} = 26.75 \left[\frac{l}{h}\right]$$

Finalmente el resultado de 26.75 [l/h] presenta una aproximación al valor máximo de consumo de combustible en volumen que prácticamente puede arrojar un motor mediano.