



Informe N°3: Ensayo a plena carga de un motor de combustión interna

Laboratorio de Máquinas

Profesores

Cristóbal Galleguillos Ketterer

Tomás Herrera Muñoz

Alumno

Héctor Muzio Harris

Resumen

El presente informe va enfocado al ensayo a plena carga realizado al motor Deutz modelo F3L912. Ensayo que se realizó de acuerdo con la norma SAE J270, y en donde las curvas características obtenidas del motor, tanto la de torque como la de potencia al freno, presentan similitud de comportamiento con las gráficas del manual del motor, pero poseen discrepancias con respecto a la magnitud de los valores obtenidos. Por otra parte, la curva de consumo específico obtenida mediante mediciones, dista completamente en magnitud y comportamiento con respecto a la curva señalada por el fabricante.

Índice

Introducción	5
Objetivos	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	6
Metodología y procedimientos	7
Procedimiento de ensayo.....	7
Instalación	7
Equipo a ensayar.....	7
Principales parámetros	7
Datos previos	8
Fórmulas y ecuaciones empíricas	9
Procedimiento de adquisición de datos sugerido.....	9
Tabla de valores medidos.....	10
Desarrollo	11
Datos previos	11
Tabla de valores medidos.....	11
Constantes a utilizar	11
Elementos calculados.....	12
Obtenga su propio grafico de potencia torque y consumo específico	12
• Gráfico de potencia	12
• Gráfico de Torque.....	13
• Gráfico consumo específico	13
Construya un gráfico similar y compare con el que se presenta en el ANEXO 5.2	14
Datos extraídos desde Anexo 5.2.....	14
• Gráfico de Potencia	15
• Gráfico de Torque.....	15
• Gráfico de Consumo específico	16
¿Puede extraer 4 datos de cada una de esas gráficas y superponerlas a la suya?	16
Suponga que obtiene mediante un análisis en CDF una serie de datos, grafique estos datos sobre las curvas obtenidas experimentalmente, comente.	16

Formule algunas preguntas o hipótesis, por ejemplo.....	20
• Grafique las temperaturas y explique su comportamiento.	20
• ¿Qué diferencia hay entre Torque y Potencia?	21
• Grafique la presión media efectiva. ¿Qué significado tiene?	21
Conclusión	23
Referencia	24
Anexo	25

Introducción

Los motores a combustión interna poseen diferentes tipos de características. Al momento de encender y entrar en funcionamiento, todos sus componentes empiezan a interactuar y cumplir con sus objetivos, es ahí cuando diferentes tipos de mediciones que se le pueden efectuar a un motor en funcionamiento nos arrojan un sin número de datos, los cuales a simple vista o por medio de tablas, no generan mayor repercusión en el receptor, ya que muchas veces la gran cantidad de datos no permite un buen entendimiento de ellos. Afortunadamente existen herramientas que permiten llevar estos datos a representaciones gráficas, que, si están bien efectuadas, admiten un claro entendimiento de los elementos obtenidos en las diferentes mediciones.

En el presente informe, la representación gráfica será de gran ayuda para poder obtener las diferentes curvas características del motor ensayado a plena carga según la norma SAE j270, en este caso, el motor es un Deutz modelo F3L912.

Objetivos

Objetivo general

- Realizar un análisis de funcionamiento de un motor a combustión interna a plena carga.

Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de los parámetros fundamentales de operación de un motor Diesel: Potencia efectiva, Presión media efectiva, Torque, Consumo específico de combustible, Presión de admisión, Temperatura del aceite y Temperatura de gases de escape, en función de la velocidad a plena carga.
- Comparar los valores y curvas obtenidas con las proporcionadas por el fabricante del motor (ver 5.2).

Metodología y procedimientos

Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo se realizará de acuerdo con la norma ENGINE RATING CODE DIESEL – SAE J270, este documento proporciona las directrices para efectuar los cálculos necesarios e indica de forma coherente los factores de corrección de unidades. En el caso de las unidades para el sistema técnico de ingeniería se deben usar los factores de conversión adecuados. En caso de hacer conversiones realizarlas de forma correcta para no acumular errores, tenga cuidado con el uso de las unidades y cifras significativas. La mayoría de las fórmulas están tomadas de la norma indicada, salvo las relativas al torque, estas se indican por separado para cada uno de los sistemas de unidades.

Instalación

La instalación cuenta con el siguiente equipamiento:

- Dinamómetro mecánico Heenan & Froude serie G
- Mesa universal de montaje de motores
- Sistema de alimentación del freno
- Motobomba.
- Piping.
- Pozo.
- Sistema volumétrico de medición del consumo de combustible y de alimentación de combustible.
- Estanque de 25 litros
- Probeta graduada a 125 cm³ y a 250 cm³
- Filtros

Equipo a ensayar

Se ensayará un motor diésel, de tres cilindros, marca Deutz, modelo F3L912, para más detalle ver la (se recomienda tener precaución al buscar datos del motor en internet, ya que existen con la misma nomenclatura diversas variantes, como por ejemplo F4L912 o F3L912)

Principales parámetros

La mayoría de las ecuaciones son empíricas y corresponden a lo indicado en la norma, hay que tener mucho cuidado con dar algún sentido físico a las constantes, principalmente corresponden a factores de corrección inherentes a los sistemas de unidades que se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Parámetros y unidades para el ensayo, adaptada de [2]

Símbolo	Definición	Unidades	
		Sistema Inglés	Sistema técnico (int.)
<i>A</i>	Corrección para temperatura absoluta	460 <i>F</i>	236° <i>C</i>
<i>C</i>	Presión barométrica	<i>pulg. de Hg</i>	<i>mm Hg</i>
<i>D</i>	Cilindrada	<i>pulg.</i> ³	<i>cm</i> ³
<i>E</i>	Factor de corrección para unidades de trabajo	396.000	600.000
<i>F</i>	Consumo de combustible	$\frac{lb}{h}$	$\frac{g}{h}$
<i>G</i>	Contante de potencia	5.252	955
<i>K</i>	Constante del dinamómetro ¹	200	268
<i>L</i>	Escala de lectura del dinamómetro ²	<i>lb</i>	<i>kp</i>
<i>M</i>	Tiempo de medición del consumo de combustible	<i>min</i>	<i>min</i>
<i>N</i>	Velocidad del motor	<i>rpm</i>	<i>rpm</i>
<i>T</i>	Torque	<i>lb f pie</i>	<i>Nm</i>
<i>a</i>	Revoluciones del cigüeñal por ciclo		
<i>sp. gr.</i>	Gravedad específica del combustible		
<i>bp</i>	Potencia al freno	<i>hp</i>	<i>kW</i>
<i>bmep</i>	Presión media efectiva	<i>hp</i>	<i>kW</i>

Datos previos

Previo a realizar el experimento es útil contar con la siguiente información.

- Determinar el volumen de la bureta a ensayar (en este caso 125 *cm*³).
- Gravedad específica del combustible Diésel.
- Número de tiempos del motor.
- Número de vueltas por ciclo del cigüeñal.
- La constante del dinamómetro.

Fórmulas y ecuaciones empíricas

Potencia al freno:

$$bp = \frac{N \cdot L}{K}$$

Presión media efectiva:

$$bmep = \frac{E \cdot a}{D \cdot N} \cdot bp$$

Torque:

$$T = \frac{bp \cdot 5.252}{N} \text{ (sistema inglés)}$$

$$T = \frac{60 \cdot 1.000 \cdot bp}{2 \cdot \pi \cdot N} \text{ (Nm)}$$

Desarrolle usted una formula dimensionalmente coherente para sacar el consumo especifico en las siguientes unidades *gr kWh*

Procedimiento de adquisición de datos sugerido

1. Poner en funcionamiento el registrador de temperaturas.
2. Poner en marcha el motor y paulatinamente ir acelerándolo y poniendo carga hasta llegar a la plena carga a 100 [rpm]. Tolerancia de la velocidad de rotación + – 5 [rpm] y el acelerador permanece a fijo a fondo durante todo el ensayo.
3. Una vez conseguida la estabilidad y cada alumno claro con su función, iniciar la primera tanda de mediciones. Las lecturas instantáneas (Velocidad de rotación, indicación de la balanza del dinamómetro, y temperaturas, se deben tomar una vez que se haya consumido la mitad del volumen de la probeta de combustible. La indicación la debe dar el ayudante.
4. Una vez tomadas las lecturas quitar la carga de forma que el motor se acelere a 1.100 + – 5 [rpm]. Tomar las lecturas de acuerdo con el procedimiento del punto anterior.
5. Continuar el ensayo aumentando la velocidad en 100 + – 5 [rpm]. Continuar hasta llegar a la velocidad en que la potencia cae notoriamente.

Tabla de valores medidos.

Registre los datos de acuerdo con el siguiente esquema, tabule y grafique.

- i. Número de medición.
- ii. Lectura del dinamómetro.
- iii. Velocidad del motor.
- iv. Tiempo de medición del consumo de combustible.
- v. Registre también las temperaturas de admisión, descarga, ambiental y carter de aceite.
- vi. Registre la variación de presión en la succión.

Desarrollo

Datos previos

- Determinar el volumen de la bureta a ensayar (en este caso 125 cm^3).
- Número de tiempos del motor (4 tiempos).
- Número de vueltas por ciclo del cigüeñal (2 vueltas).
- La constante del dinamómetro (200).

Tabla de valores medidos

Valores Medidos										
N°	Velocidad Referencia	Velocidad Real	Carga Freno	Vcomb	tcons	Tamb	Tadm	Taceite	Tesc	Δp_{adm}
	[rpm]	[rpm]	[-]	[cm^3]	[s]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmH ₂ O]
1	1000	1002	4,55	125	99	18	29	72	468	76
2	1100	1102	4,6	125	88	18	29	74	482	79
3	1400	1402	4,84	125	65	18	27	88	550	102
4	1500	1500	4,81	125	62	18	28	91	551	110
5	1600	1598	4,74	125	61	18	29	93	549	116
6	2100	2098	4,27	125	50	20	29	99	530	188
7	2200	2198	3,96	125	50	20	29	99	514	200

Tabla 1

Constantes a utilizar

densidad diésel [gr/cm^3]
0,85
k
200
a
2
E
396000
D
172,51412

Tabla 2

Elementos calculados

Velocidad Real	potencia al freno	presión media efectiva (hp)	Torque		
[rpm]	bp (hp)	b MEP	T [lbfpie]	m [gr/seg]	consumo específico [gr/kwh]
1002	22,796	104,444	119,483	1,073	227,291
1102	25,346	105,591	120,796	1,207	229,972
1402	33,928	111,100	127,098	1,635	232,590
1500	36,075	110,412	126,311	1,714	229,334
1598	37,873	108,805	124,472	1,742	222,030
2098	44,792	98,016	112,130	2,125	229,031
2198	43,520	90,900	103,990	2,125	235,724

Tabla 3

Obtenga su propio grafico de potencia torque y consumo específico

- Gráfico de potencia

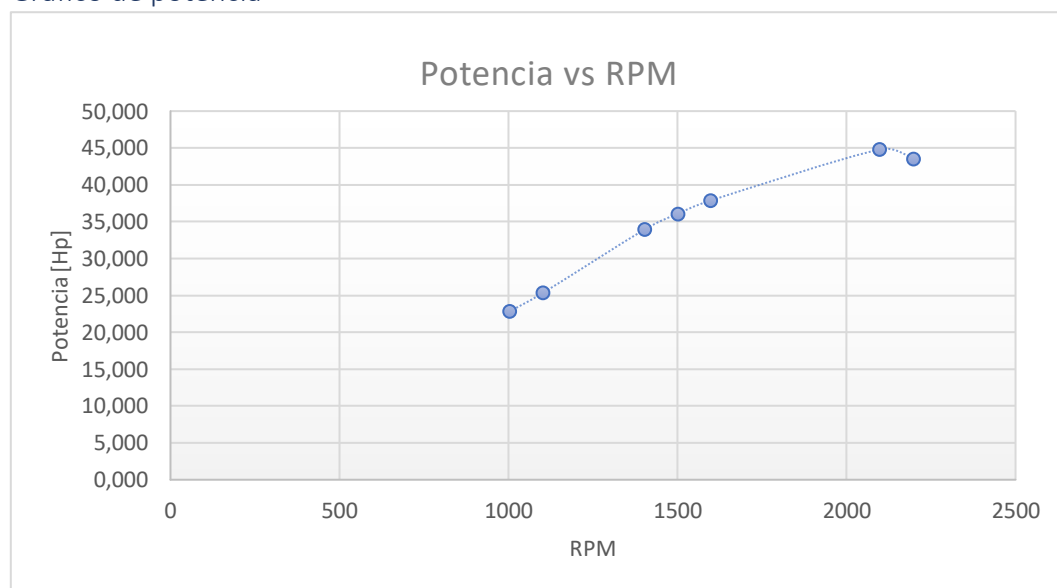


Gráfico 1

- Gráfico de Torque

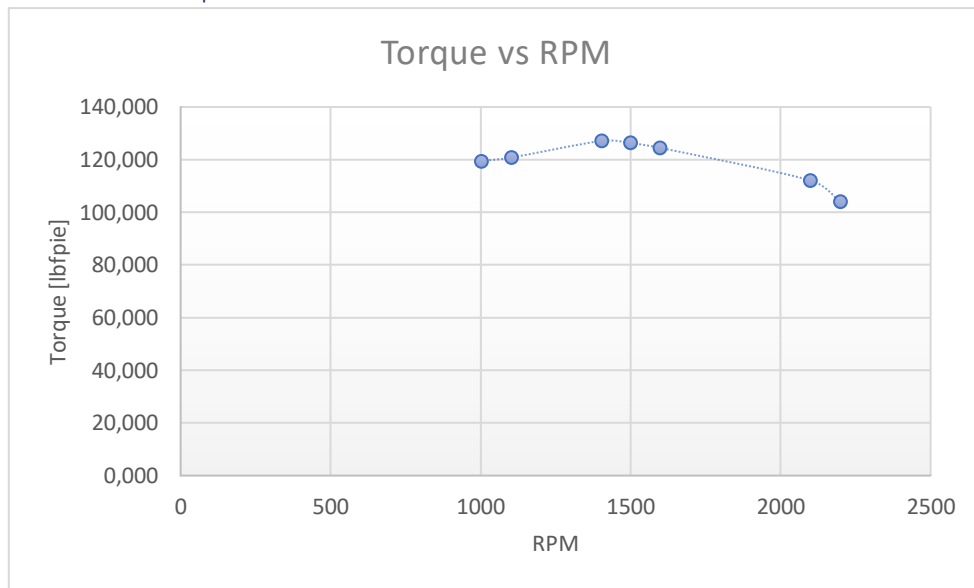


Gráfico 2

- Gráfico consumo específico

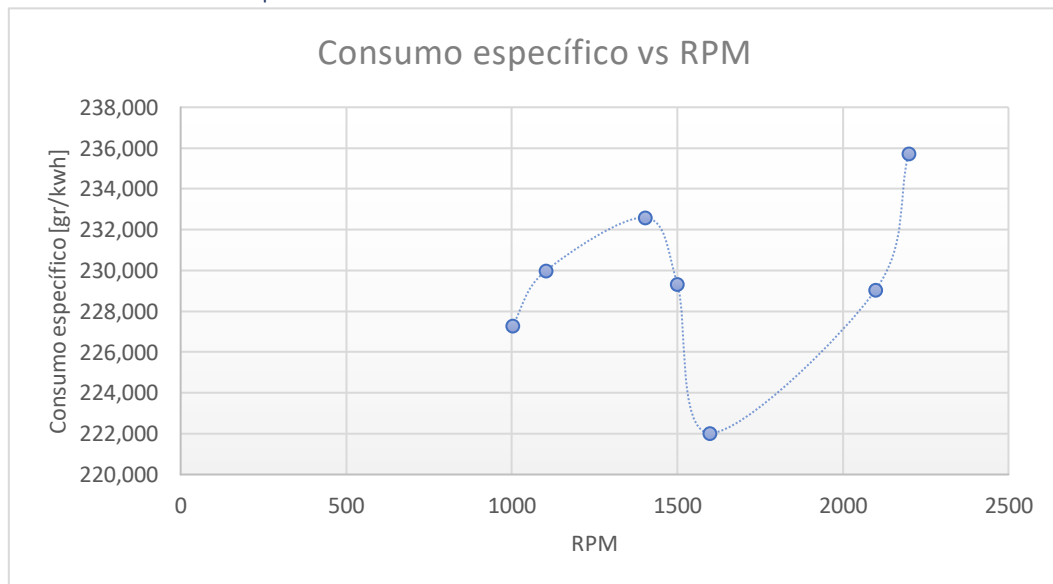


Gráfico 3

Construya un gráfico similar y compare con el que se presenta en el ANEXO 5.2

Datos extraídos desde Anexo 5.2

Potencia	RPM	Kw	HP
	1000	17	22,79734
	1300	20	26,8204
	1600	25	33,5255
	2000	30	40,2306

Tabla 4

C. Especifico	RPM	gr/Kwh
	1000	219
	1300	219
	1600	219
	2000	220

Tabla 5

Torque	RPM	Nm	Lbfpie
	1000	170	125,3855
	1300	185	136,449
	1600	193	142,3495
	2000	185	136,449

Tabla 6

- Gráfico de Potencia

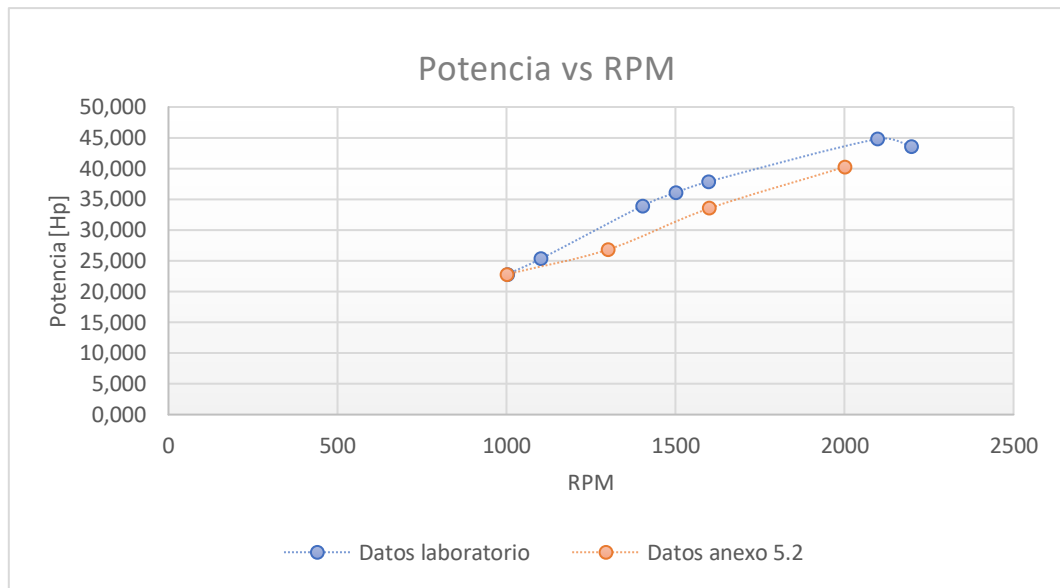


Gráfico 4

- Gráfico de Torque

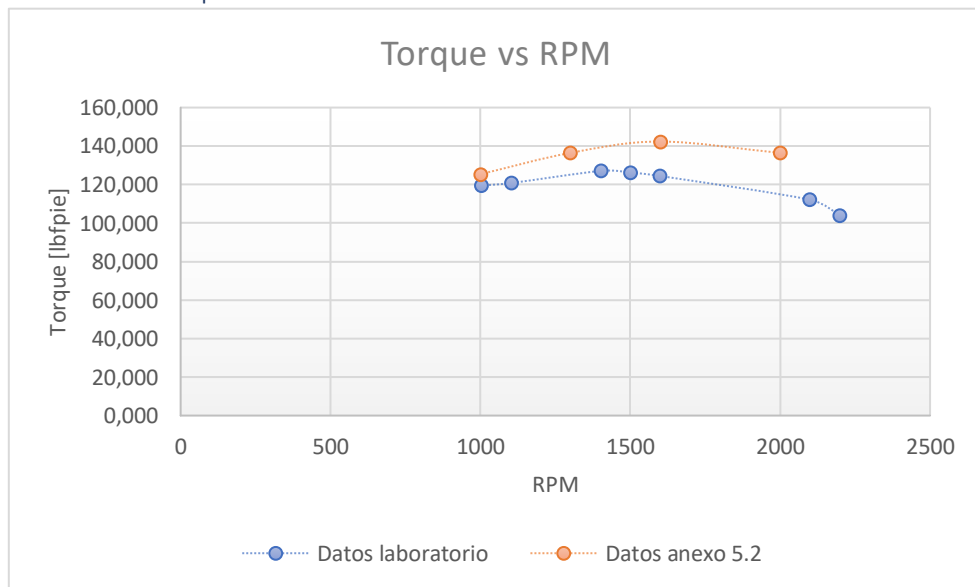


Gráfico 5

- Gráfico de Consumo específico

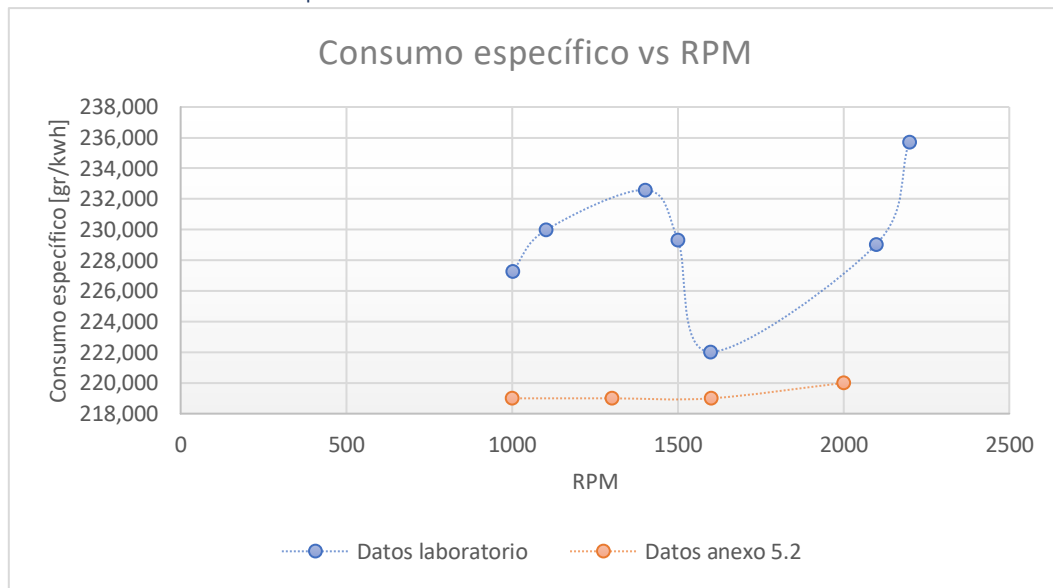


Gráfico 6

¿Puede extraer 4 datos de cada una de esas gráficas y superponerlas a la suya?

Al extraer 4 datos desde el ANEXO 5.2 y superponerlos con los resultados obtenidos mediante el laboratorio, se puede observar que, en 2 de los gráficos, (potencia vs RPM y torque RPM) existe una tendencia de comportamiento, ya que en ambos casos la conducta de los resultados muestra una semejanza entre ellos, siendo una variación en la amplitud lo que los hacen diferentes. Por otro lado, el gráfico de consumo específico no muestra ninguna relación entre los datos obtenidos por el ANEXO 5.2 y los resultados del laboratorio.

Suponga que obtiene mediante un análisis en CDF una serie de datos, grafique estos datos sobre las curvas obtenidas experimentalmente, comente.

Para poder resolver esta pregunta es necesario obtener los datos mediante cfd, al no ser posible se utilizó una interpolación aproximada entre los datos obtenidos en laboratorio, de esta manera se adquirió una mayor cantidad de datos “simulando” de alguna manera un análisis por cfd.

Muestra de datos por supuesto de cfd

CFD			
rpm	Torque[lbfpie]	c. específico [gr/kwh]	Potencia (hp)
1002	119,444	227,291	22,796
1025	119,560	228,000	23,300
1050	120,000	228,700	23,900
1075	120,300	229,300	24,500
1102	120,796	229,972	25,346
1200	122	230,2	27
1300	124	231,3	30
1402	127,098	232,590	33,928
1425	126,9	231,4	34,3
1450	126,7	230,4	35
1500	126,311	229,334	36,075
1525	126	227	36,4
1550	125	225	36,9
1575	124	223,8	37,4
1598	124,472	222,030	37,873
1700	120	224	39,3
1800	118	226	41,8
1900	116	227	43
2098	112,130	229,031	44,792
2125	110	230	44,2
2150	108	232	43,9
2175	106	234	43,7
2198	103,990	235,724	43,520

Tabla 7

De esta manera se pudo obtener los siguientes gráficos en donde por un lado, se muestran los datos obtenidos en el laboratorio en donde existieron 7 mediciones, y por otro lado se encuentra los datos “supuestos por cfd”, obtenidos por interpolación aproximada, en donde se obtuvieron 23 elementos.

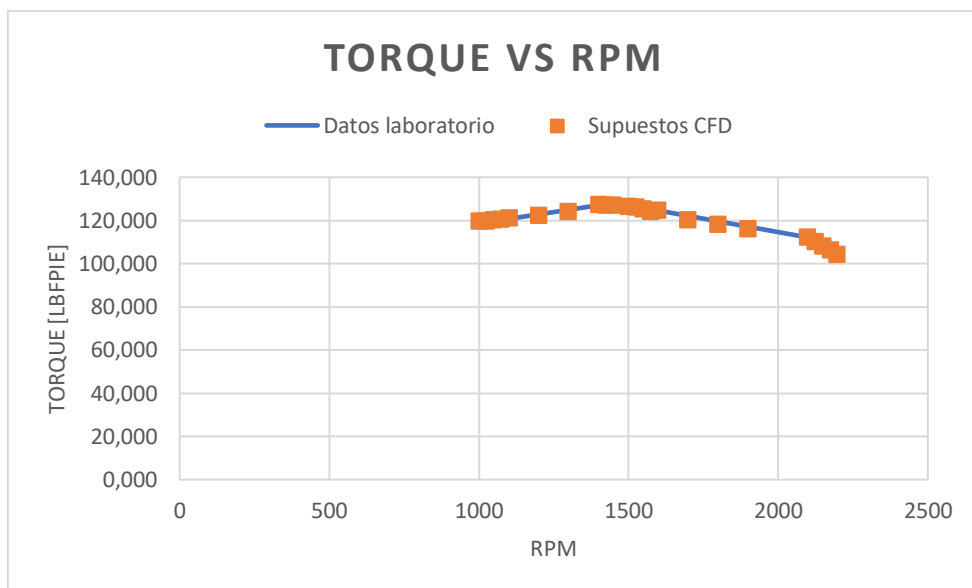


Gráfico 7

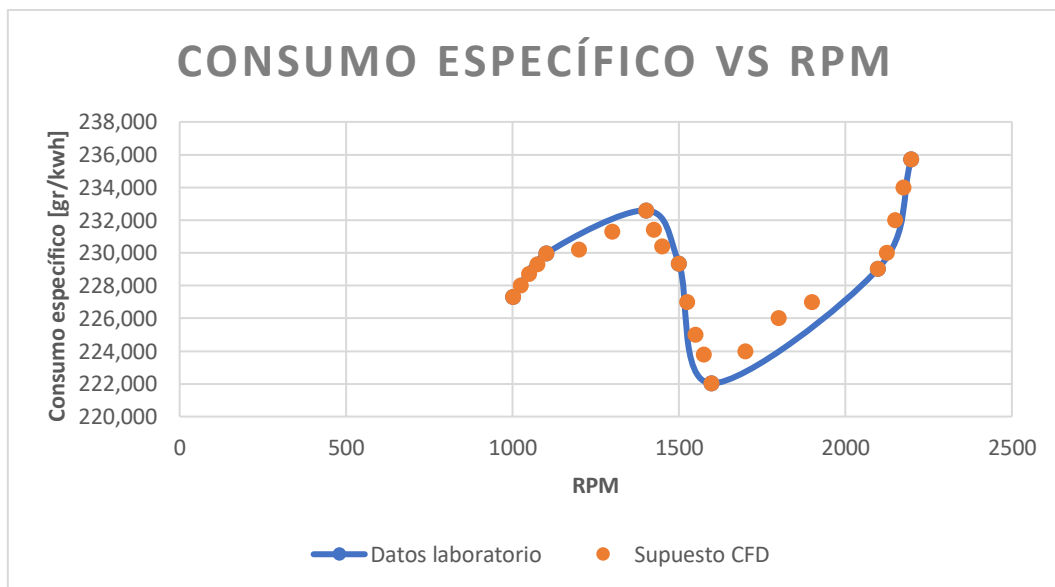


Gráfico 8

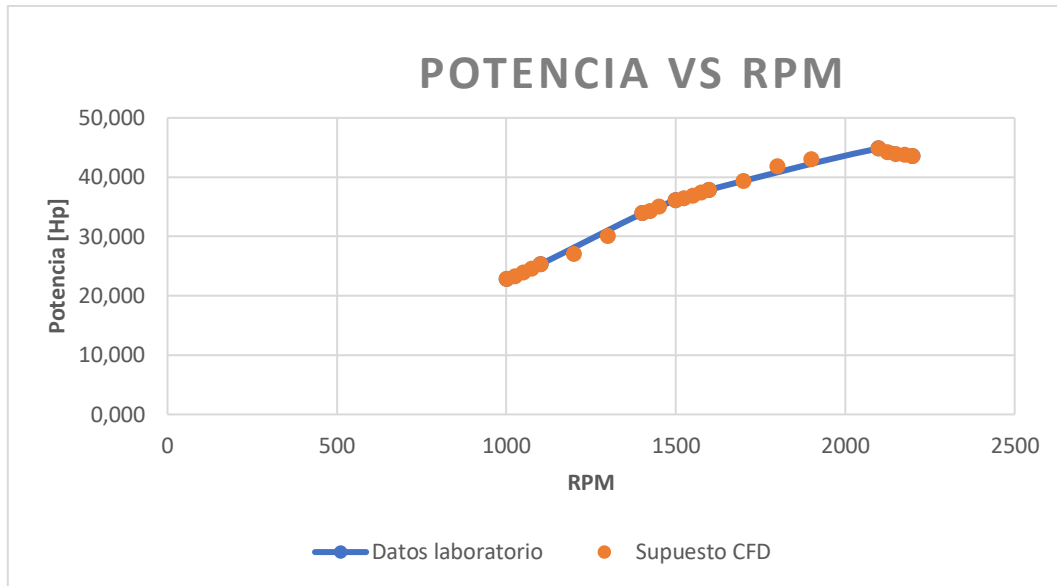


Gráfico 9

Por medio de los gráficos, se puede apreciar que gracias a la mayor cantidad de datos obtenidos por “supuesto cfd”, los resultados expresados visualmente son más exactos, ya que por medio de puntos nos podemos dar cuenta que en algunas ocasiones difieren de los datos de laboratorio, debido a que las líneas trazadas por dispersión solo cuentan con 7 puntos de datos, por lo que la información entre ellas está más distanciada, generando que se unan puntos de datos, sin tener mediciones en el medio de ellos, siendo posible que entre esos 2 puntos mencionados se encuentre alguna medición que escape de la proyección de la línea recta.

Formule algunas preguntas o hipótesis, por ejemplo

- Grafique las temperaturas y explique su comportamiento.

Grafica de temperatura

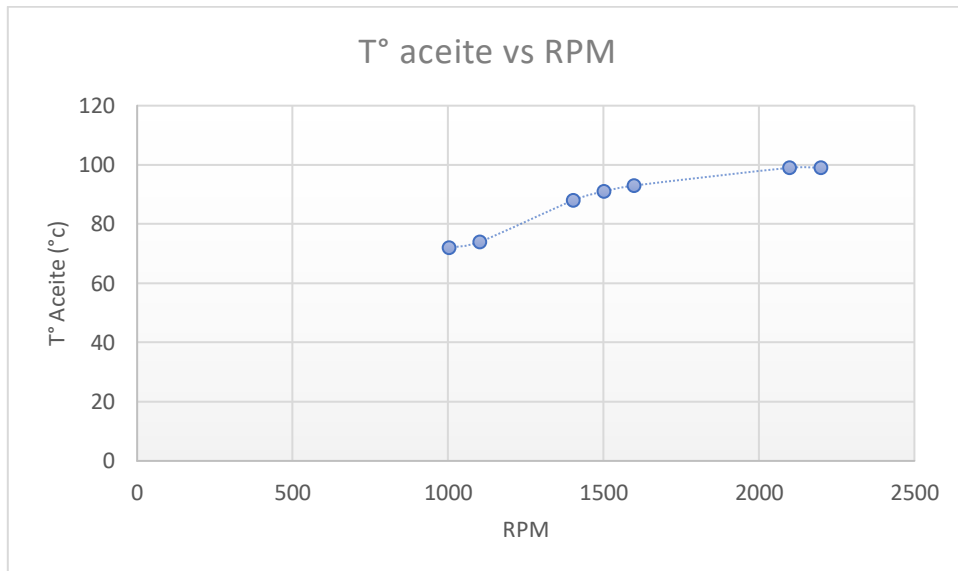


Gráfico 10

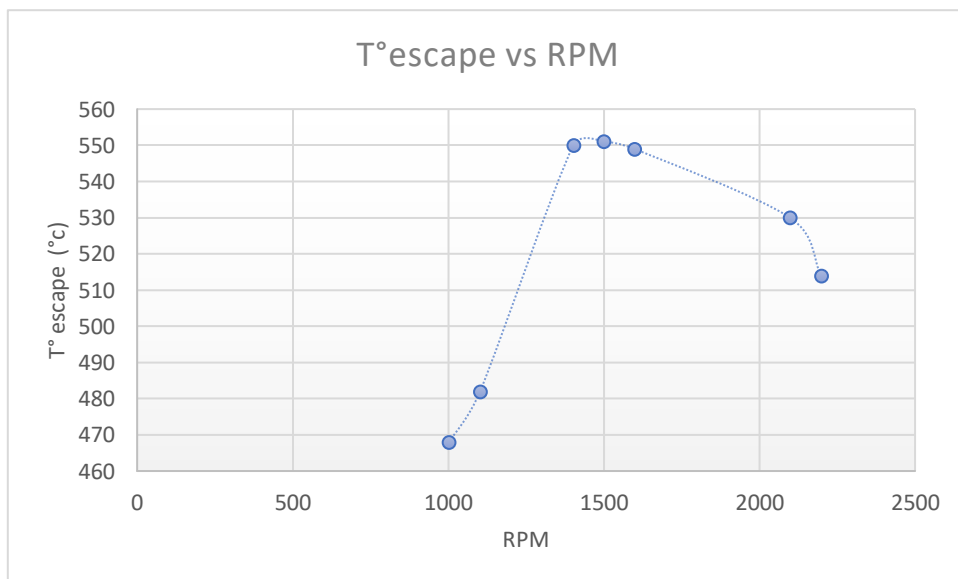


Gráfico 11

Con respecto al análisis de temperatura, por un lado, es bastante claro que a medida que aumentan las RPM va aumentando la energía calórica en el aceite del motor, todo esto en gran parte provocado por el aumento del roce con las revoluciones, por lo que el aceite que se utiliza como lubricante de cilindros, pistones y sus componentes vaya aumentando su temperatura.

Por otro lado, la temperatura de los gases de escape va aumentando de forma pronunciada hasta aproximadamente las 1400 RPM, en donde empieza a bajar. Lo anterior no es coincidencia ya que, a ese valor de rpm es donde se comienza a bajar la carga de freno, lo que nos señala que el motor está menos exigido, en donde el cigüeñal gira con menos resistencia por ende la disminución de temperatura en los gases de escape.

- ¿Qué diferencia hay entre Torque y Potencia?

En ámbitos netamente de análisis dimensional y de unidades, el torque corresponde a una fuerza multiplicada por una distancia, por otro lado, la potencia es la administración de un trabajo en un periodo de tiempo. En ámbitos mas relacionados a un automóvil y de manera bastante burda podemos decir también que, el torque da la capacidad de arrancar rápidamente después de detenerlo. En cambio, la potencia proporciona la capacidad de acelerar a altas velocidades.

- Grafique la presión media efectiva. ¿Qué significado tiene?

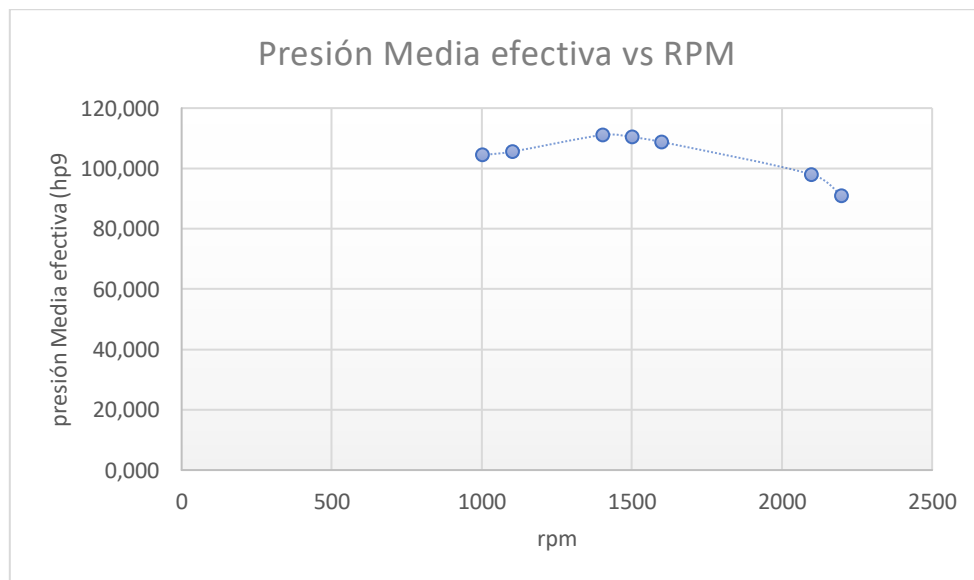


Gráfico 12

La presión media efectiva (PME) se puede considerar como la presión promedio que actúa sobre un pistón durante las diferentes partes de su ciclo. Su comportamiento tiene lógica en el sentido de que a medida que aumentan las revoluciones del motor, la inercia de los elementos de este, van contrarrestando las presiones que los gases mismos generan sobre el pistón. Es debido a ello que en la grafica se muestra un aumento en la PME a medida que van aumentando las rpm, hasta que llega un punto (1400) rpm en donde la inercia toma relevancia y contrarresta una parte de las presiones generada por los gases en la combustión.

Conclusión

Por medio de las diferentes mediciones se pudo obtener las curvas características del motor ensayado, en donde los comportamientos tuvieron lógica con el fabricante, a excepción de la curva obtenida a través de los datos del consumo específico de combustible. Esto se puede deber a diferentes motivos, entre los cuales puede destacar, errores en la medición de ciertos parámetros o en discrepancias con la norma a utilizar. También es importante destacar que, las diferencias entre magnitudes con respecto a la curva obtenida en el laboratorio, con la curva perteneciente al anexo del fabricante, se pueden deber también a las condiciones del motor, ya que, debido al paso del tiempo, su uso y desgaste, distintas pérdidas de diferente índole pueden generar fluctuaciones en los datos obtenidos, ya que las características del motor no son idénticas a cuando este era nuevo.

Por último, hay que señalar que, a mayor cantidad de datos obtenidos, más exactas serán las curvas obtenidas y mayor concordancia tendrán con las expuestas por el fabricante.

Referencia

- J. Leonicio y J. Roncagliolo (profesor guía), Proyecto de nuevo laboratorio de motores de combustión interna para la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2003.
- Society of Automotive Engineers, Engine Rating Code - Diesel J270, SAE International, 1971.
- <https://ww2.copec.cl/combustibles/products/diesel-ultra>
- Todos los gráficos y tablas utilizados corresponden a elaboración propia.

Anexo

5.2 Curvas motor F3L 912.

