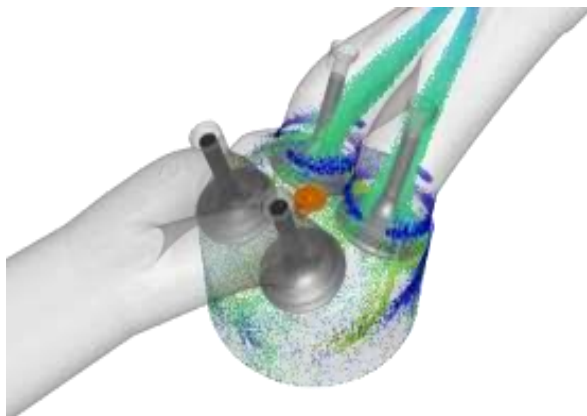




Informe N°3 Laboratorio de Máquinas

“Ensayo a plena carga de un motor de combustión interna”



Nombre: Mauricio Carrasco Cornejo

Curso: ICM557-3

Profesor: Cristóbal Galleguillos Kettere

Fecha: 02/10/2020



Resumen

En este informe se presenta un ensayo realizado a plena carga al motor Deutz F3L912. Donde se obtuvieron distintas curvas, de potencia, torque, temperatura, consumo de combustible, y se compararon con las del fabricante, se pudo observar el desgaste que a tenido el motor y que aun conserva las tendencias de las curvas originales con pequeñas variaciones. El ensayo se realizó bajo la norma SAE J270.



Índice

Resumen	2
Introducción.....	4
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
Ensayo de un motor diésel a plena carga.	6
Procedimiento de ensayo.	6
Instalación.....	6
Equipo a ensayar.....	7
Principales parámetros.	7
Datos previos.....	9
Fórmulas y ecuaciones empíricas.....	9
Procedimiento de adquisición de datos sugerido.....	10
Tabla de valores medidos.....	10
Desarrollo.....	11
Gráficos	12
Conclusión.....	17
Bibliografía	18
Anexos.....	19
5.1 Datos técnicos motor F3L 912 [3].	19
5.2 Curvas motor F3L 912.	20
5.3 Ejemplo de cálculo de torque [4].	21
5.4 Ejemplo de curvas experimentales (no corresponden al motor ensayado)	22
5.5 Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes [4].	23
5.6 Consumo de combustible motores DEUTZ [3].	24



Introducción.

La mayor parte de los motores se le hacen una serie de mediciones para compararlos a los datos entregados por el fabricante, para saber si su comportamiento es el adecuado y no tiene grandes cambios o si ha sufrido algún desperfecto, las pruebas principales siempre son para obtener los valores relativos de presión medio efectiva, potencia, el consumo específica de combustible, temperaturas, etc.

Este documento describe uno de los procedimientos para determinar el funcionamiento a plena carga de un motor a combustión interna. Donde a partir de un ensayo se obtendrán diversas curvas del motor, donde veremos su significado y se compararán con las curvas originales del fabricante.



Objetivo general

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

Objetivos específicos

- i. 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.
- ii. Comparar los valores y curvas obtenidas con las proporcionadas por el fabricante del motor (ver 5.2).



Ensayo de un motor diésel a plena carga.

Procedimiento de ensayo.

El procedimiento de ensayo se realizará de acuerdo a 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 formulas 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 [1]:

- 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 cm^3 y a 250 cm^3
- 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.³</i>	<i>cm³</i>
<i>E</i>	Factor de corrección para unidades de trabajo	396.000	600.000
<i>F</i>	Consumo de combustible	<i>lb</i> <i>h</i>	<i>g</i> <i>h</i>
<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>lbf 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>b MEP</i>	Presión media efectiva	<i>hp</i>	<i>kW</i>

¹ Se presenta la constante del dinamómetro del que se encuentra en el banco de pruebas del laboratorio. ² considerar la procedencia del dinamómetro (inglesa) para el desarrollo de los cálculos de potencia al freno.



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:

$$bp = \frac{N \cdot L}{K} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Presión media efectiva:

$$bmep = \frac{E \cdot a}{D \cdot N} \cdot bp \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Torque:

$$T = \frac{bp \cdot 5.252}{N} \quad (\text{sistema inglés}) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$T = \frac{60 \cdot 1.000 \cdot bp}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot (Nm) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Desarrolle usted una formula dimensionalmente coherente para sacar el consumo específico en las siguientes unidades $\frac{gr}{kWh}$



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 $\pm 5 [rpm]$ 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 $1.100 \pm 5 [rpm]$. Tomar las lecturas de acuerdo al procedimiento del punto anterior.
5. Continuar el ensayo aumentando la velocidad en $100 \pm 5 [rpm]$. Continuar hasta llegar a la velocidad en que la potencia cae notoriamente.

Tabla de valores medidos.

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

- i. Número de medición.
- ii. Lectura 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

Tabla de valores medidos

Valores Medidos										
N°	Velocidad Referencia [rpm]	Velocidad Real [rpm]	Carga Freno [-]	Vcomb [cm ³]	tcons [s]	Tamb [°C]	Tadm [°C]	Taceite [°C]	Tesc [°C]	Δp _{adm} [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 de valores calculados

Velocidad real [RMP]	potencia al freno [HP]	presion media efectiva [HP]	Torque [IBF*PIE]	Consumo especifico [GR/KWH]
1002	22,80	120,12	122,486	227,287
1102	25,35	121,44	124,652	229,297
1402	33,93	127,776	129,285	232,595
1500	36,08	126,984	127,254	229,145
1598	37,87	125,136	125,524	221,958
2098	44,79	112,728	118,245	228,984
2198	43,52	104,544	106,542	234,254

DATOS ANEXO 5.2			
RPM	Potencia al freno [HP]	consumo especifico [Gr/Kwh]	Torque [LBF*PIE]
1000	21,4564	218	125,386
1200	24,1384	218	132,761
1800	37,5486	220	138,662
2000	42,9127	220	136,449

Gráficos

Grafique las temperaturas y explique su comportamiento.

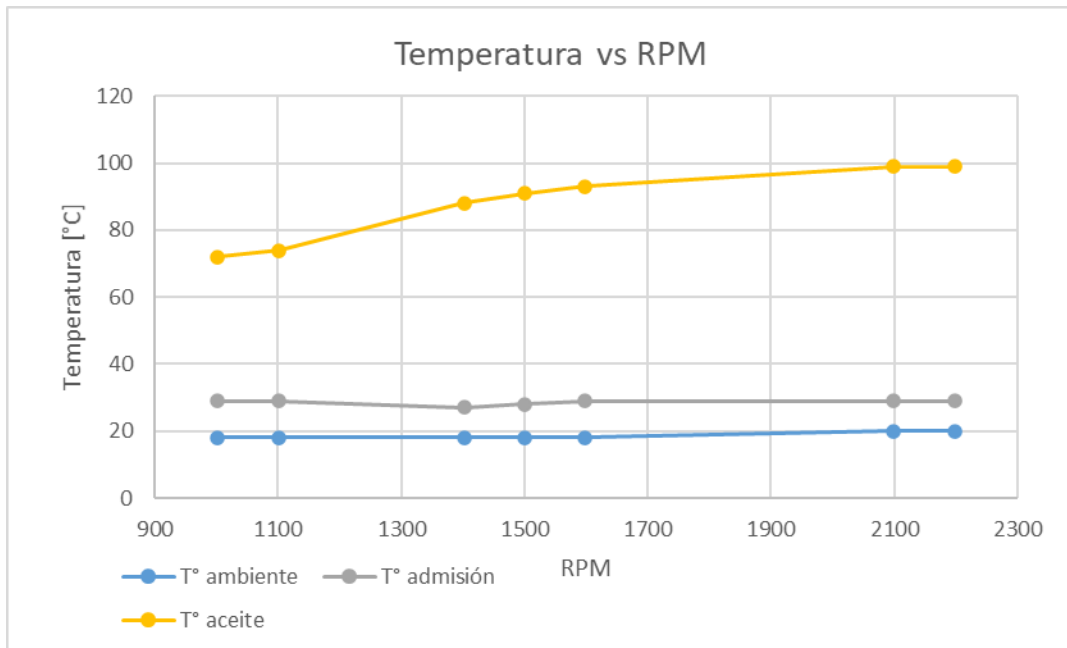


Grafico 1

Lo que podemos apreciar tanto en la temperatura de admisión y a la temperatura de ambiente, que se variación al incremento de las rpm, es muy pequeña, ya que estas son variables que dependen netamente de la atmosfera de trabajo, y no en si de las revoluciones del motor, en cambio la temperatura del aceite se puede ver un incremento notorio al aumentar las rpm, esto es debido a que al aumentar estas, aumenta la fricción entre los componentes del motor, estos aumentas su temperatura y el aceite absorba esa temperatura.

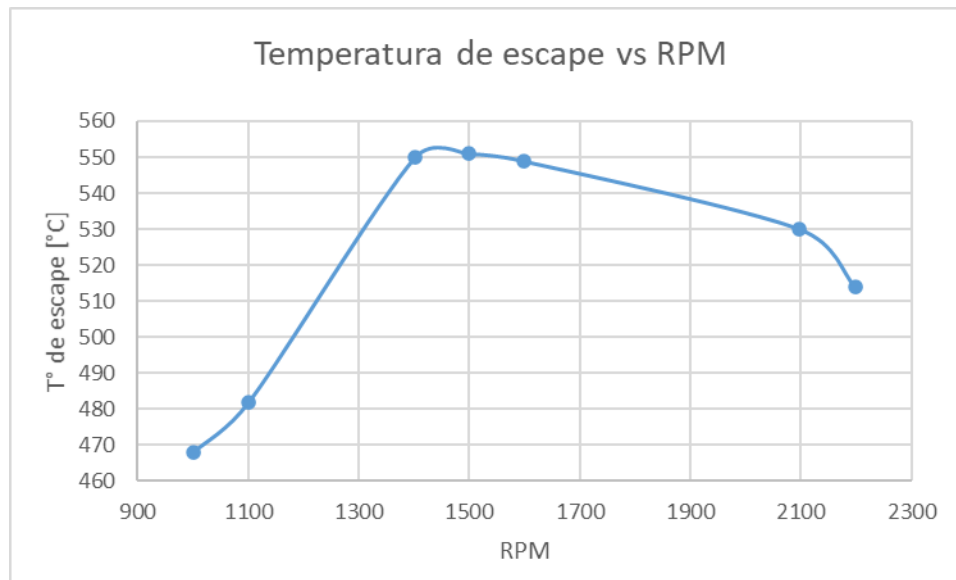


Gráfico 2

Podemos apreciar que la temperatura de los gases va aumentando en conjunto con las rpm, pero llega un punto, entre 1400 y 1500 rpm que comienza a descender la temperatura, esto podría estar relacionado al torque ya que a las mismas revoluciones la curva del torque también desciende, es decir, tienen un comportamiento similar.

¿Qué diferencia hay entre Torque y Potencia?

La gran diferencia entre la potencia y el torque es que el torque es la fuerza del motor y se entrega en forma de giro, y la potencia se obtiene a partir del torque y las revoluciones.

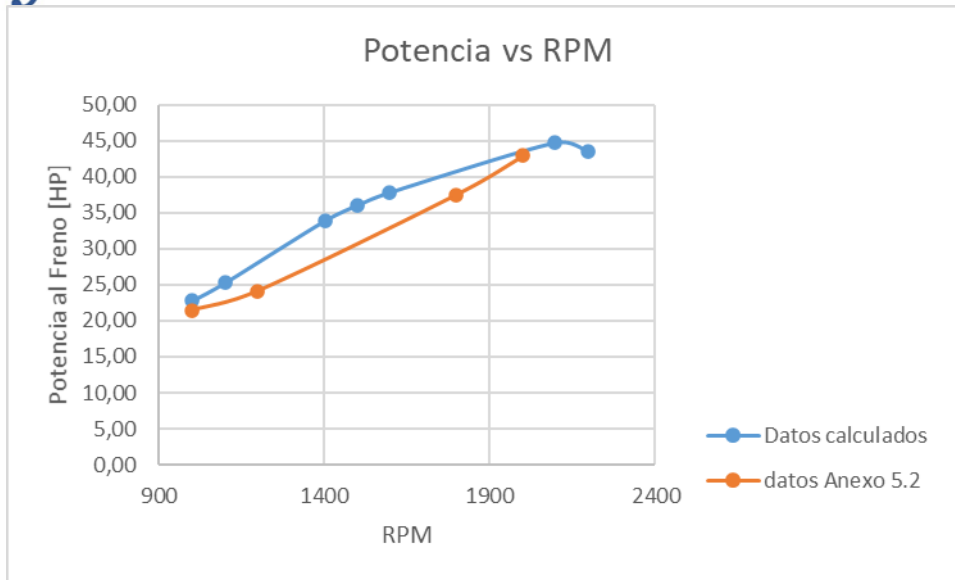


Gráfico 3

Lo que podemos apreciar en la gráfica, es que las curvas tienen una tendencia parecida, pero no son exactamente iguales, esto es debido a que al pasar del tiempo los componentes se van gastando y no son exactamente iguales a los del fabricante.

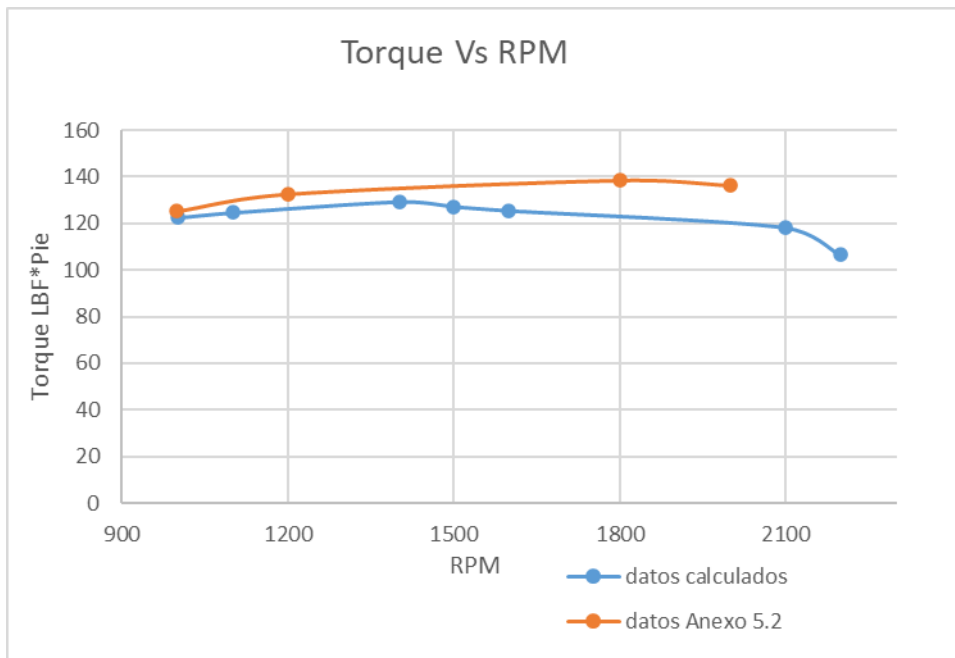


Gráfico 4

Las curvas de datos calculados tienen tendencias muy parecidas a la del anexo 5.2, que es la del fabricante, no son idénticas, pero no tiene gran variación, esto se debe a pequeños cambios que sufren los componentes con el tiempo, debido a su uso.

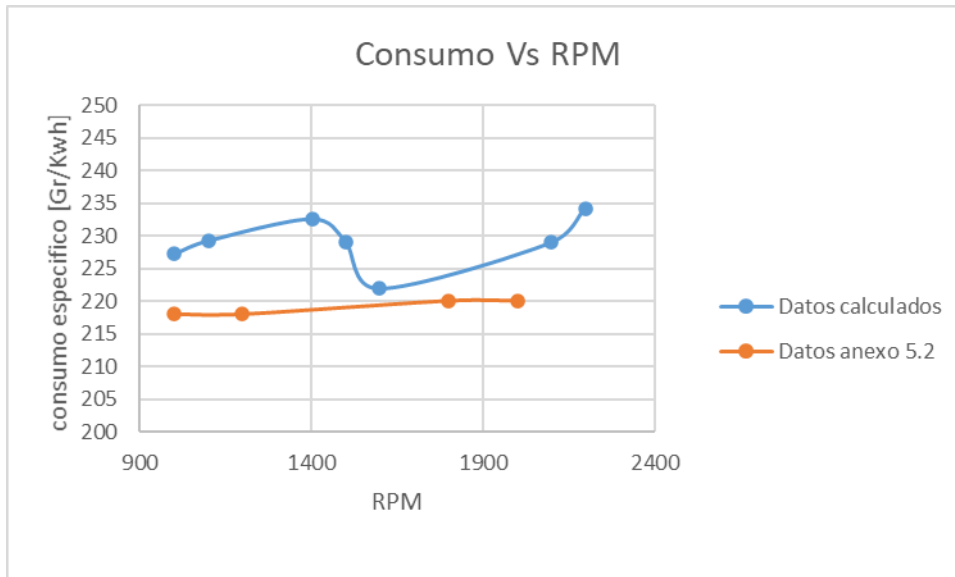


Gráfico 5

En el grafico de consumo especifico vs rpm, vemos que la curva de datos calculados, es irregular, y distinta a la del fabricante, aunque no varia demasiado en datos, si en su forma y tendencia, la curva de los datos del anexo, es mas eficiente y mas estable, debido que es un caso donde los pistones no tiene desgaste, ni las piezas del motor, ya con el pasar del tiempo nuestro motor se vuelve menos eficiente y necesita más combustible para alcanzar la misma cantidad de rpm.

Grafique la presión media efectiva. ¿Qué significado tiene?

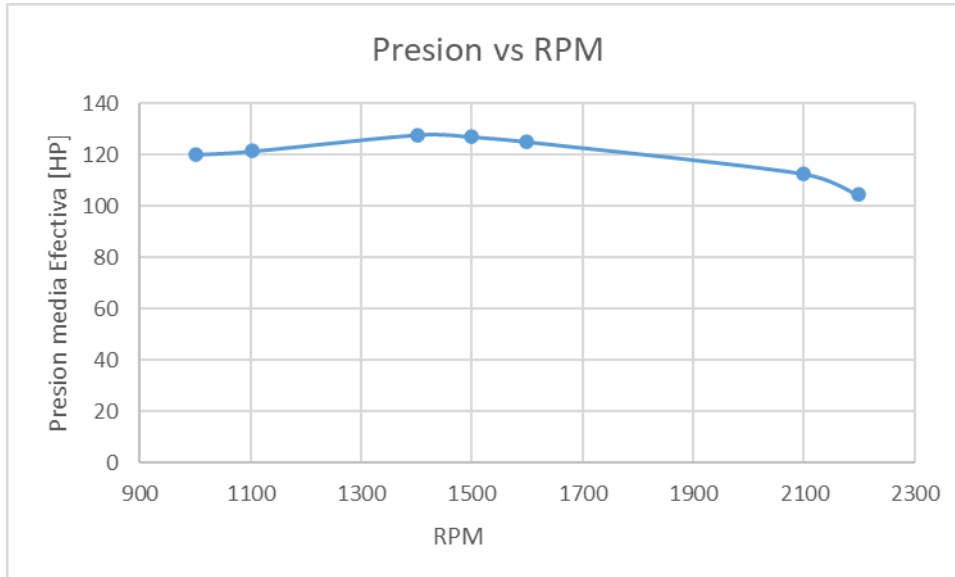


Gráfico 6

La Presión Media Efectiva es la media de todas las presiones instantáneas que se producen en la fase de combustión y expansión de los gases dentro del cilindro. La presión media está en función del llenado del cilindro y del aprovechamiento del combustible que se introduce al motor.

Lo que observamos en la grafica es una tendencia muy parecida a la que tiene al torque, esto es porque ambos estas relacionados.

Suponga que obtiene mediante un análisis en CDF una serie de datos, grafique estos datos sobre las curvas obtenidas experimentalmente, comente (mire los datos de la gráfica como se presentan superpuestas sobre la curva los puntos obtenidos, ver anexo 5.4

Si hubiésemos podido hacer un análisis CFD, nos hubiésemos dado cuenta que los datos serian mas parecidos a los del fabricante que los nuestro, debido a que este es un estudio de gran precisión que se generan datos mediante algoritmos que simulan el comportamiento del fluido.



Conclusión

Se puede apreciar la importancia del ensayo en lo que es el monitoreo de los motores, ya que es importante saber cómo están funcionando las máquinas que utilizamos, tanto como saber si están consumiendo la cantidad de combustible adecuado o si están trabajando a una buena potencia, esto nos permite un trabajo más eficiente y seguro, en este observamos que aunque no eran exactamente iguales, las curvas sí tenían relación a las del fabricante, solo variaban por el uso que ha tenido el motor a lo largo del tiempo, haciendo que se desgasten algunas piezas. También destacar, que las curvas originales se hacen con una mayor cantidad de datos lo que las hacen mucho más precisas.



Bibliografía

- [1] 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.
- [2] Society of Automotive Engineers, Engine Rating Code - Diesel J270, SAE International, 1971.
- [3] G. Vejár y J. Roncagliolo (profesor guía), *Determinación y mejoras en las capacidades de experimentación del motor DEUTZ Roncagliolo*, Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2007.
- [4] Y. A. Çengel y M. A. Boles, Termodinámica, Ciudad de México: McGraw-Hill, 2012.
- [5] P. Boulanguer, Motores Diesel, Madrid: H. Blume Ediciones, 1968.
- [6] W. Severns, H. Degler y J. Miles, Energía mediante, vapor, aire o gas, Barcelona: Reverté S.A., 1961.

Anexos.

5.1 Datos técnicos motor F3L 912 [3].

Datos técnicos

9.1 Datos del motor y datos de ajuste

Tipo de construcción	F3L 912	F4L 912	F5L 912	F6L 912
Número de cilindros	3	4	5	6
Disposición de los cilindros			vertical en línea	
Diámetro de cilindro [mm]			100	
Carrera [mm]			120	
Cilindrada total [cm³]	2827	3770	4712	5655
Relación de compresión [ε]			19	
Modo de funcionamiento	Motor diesel de 4 tiempos			
Método de combustión	Motor de aspiración con inyección directa			
Sentido de rotación	hacia la izquierda (antihorario)			
Peso inclusive el sistema de refrigeración según DIN 70020-A sin motor de arranque, con generador, aprox. [kg]	270 ⁵⁾	300 ⁵⁾	380 ⁵⁾	410 ⁵⁾
Potencia del motor [kW]			1)	
RPM [1/min]			1)	
Lubricación	Lubricación a presión en circuito cerrado			
Aceite SAE			15W 40	
Temperatura del aceite en el cárter [°C]			125	
Presión mínima de aceite con el motor caliente (120 °C) en ralentí bajo/rpm nominales [bar]			0,4 ⁴⁾	
Cantidad de primer cambio de aceite sin filtro aprox. [ltr.]	9,0 ³⁾	12,0 ³⁾	13,5 ³⁾	14,5 ³⁾
Cantidad de primer cambio de aceite con filtro aprox. [ltr.]	9,5 ³⁾	12,5 ³⁾	14,0 ³⁾	15,5 ³⁾
Juego de válvulas con el motor frío [mm]	válvula de admisión 0,15 +0,05 / válvula de escap 0,15 +0,05			
Presión de apertura de los inyectores [bar]			250 +8	
Comienzo de la inyección [° del cigüeñal antes del PMS]			1)	
Secuencia de encendido del motor	1-2-3	1-3-4-2	1-2-4-5-3	1-5-3-6-2-4
Tensión de la correa: pretensar / retensar	pretensar / retensar ²⁾			
Ventilador / alternador [N]			450 / 300 ± 20	
Compresor [N]			550 / 400 ± 20	

1) La potencia, las rpm y el comienzo de inyección del motor están indicados, entre otros, en la placa de tipo (véase también 2.1).

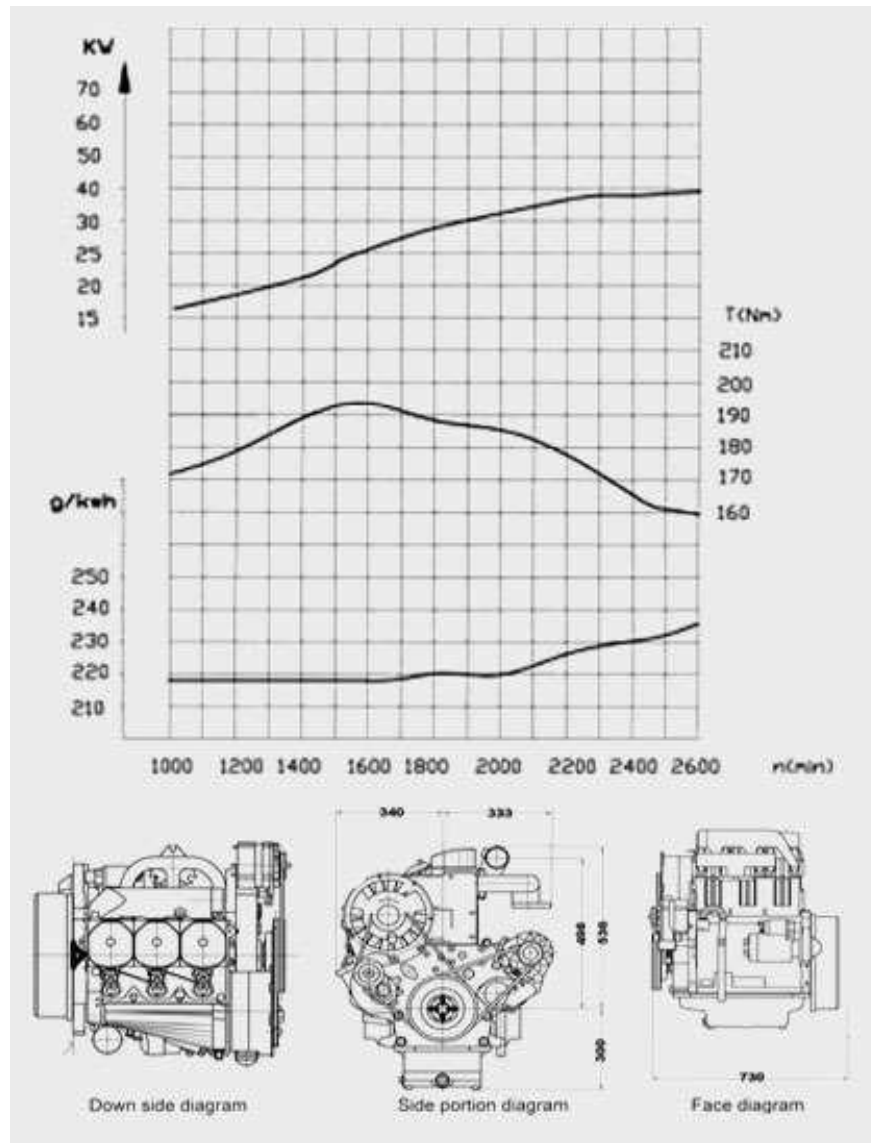
2) Retensar después de 15 minutos, en los cuales el motor ha funcionado bajo carga.

3) Valores aproximados que pueden variar según la versión del motor. **La marca superior de la varilla de nivel de aceite es siempre determinante.**

4) Especificaciones para motores sin calefacción de aceite.

5) Valores aproximados que pueden variar según el modelo del cárter de aceite.

5.2 Curvas motor F3L 912.



5.3 Ejemplo de cálculo de torque [4].

EJEMPLO 2-7 Transmisión de potencia mediante la flecha de un automóvil

Determine la potencia transmitida por la flecha de un automóvil cuando el momento de torsión aplicado es de $200 \text{ N} \cdot \text{m}$ y la flecha gira a razón de $4\,000$ revoluciones por minuto (rpm).

Solución El momento de torsión y las revoluciones por minuto para un motor de automóvil son los datos. Se determinará la potencia transmitida.

Análisis En la figura 2-31 se esquematiza el automóvil. El trabajo de flecha se determina directamente a partir de

$$\begin{aligned}\dot{W}_{\text{flecha}} &= 2\pi\dot{n}T = (2\pi)\left(4\,000 \frac{1}{\text{min}}\right)(200 \text{ N} \cdot \text{m})\left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right)\left(\frac{1 \text{ kJ}}{1\,000 \text{ N} \cdot \text{m}}\right) \\ &= 83.8 \text{ kW} \quad (\text{o } 112 \text{ hp})\end{aligned}$$

Comentario La potencia que transmite la flecha es proporcional al momento de torsión y a la velocidad de rotación.

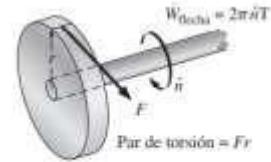


FIGURA 2-30

El trabajo de flecha es proporcional al momento de torsión aplicado y al número de revoluciones de la flecha.

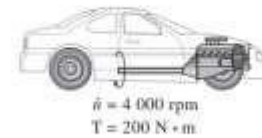
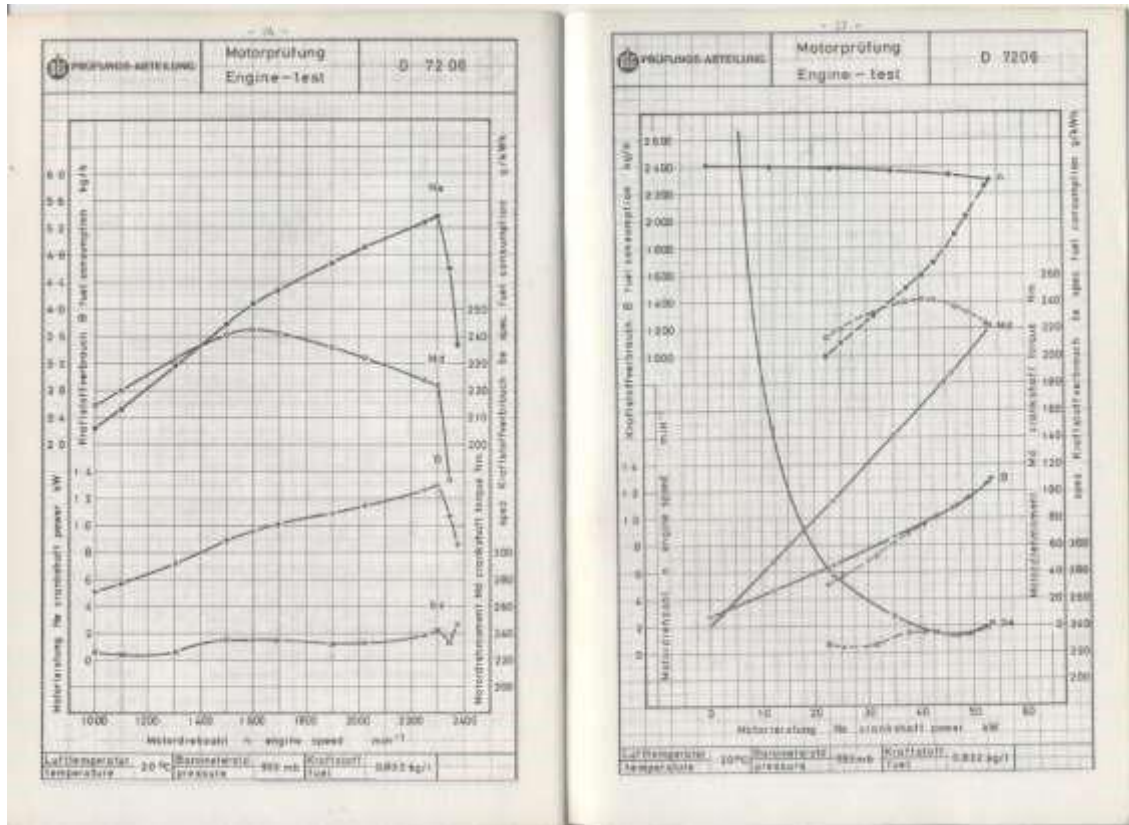


FIGURA 2-31

5.4 Ejemplo de curvas experimentales (no corresponden al motor ensayado)



5.5 Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes [4].

a) Líquidos							
Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquidos		
	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · K
Aceite comestible (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Refrigerante 134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-50	1443	1.23
Salmuera (20% de cloruro de sodio a base másica)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43

* Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la presión de punto triple de 518 kPa, el dióxido de carbono existe como un sólido o un gas. También, la temperatura de punto de congelamiento del dióxido de carbono es la temperatura de punto triple de -56.5°C.)

5.6 Consumo de combustible motores DEUTZ [3].

