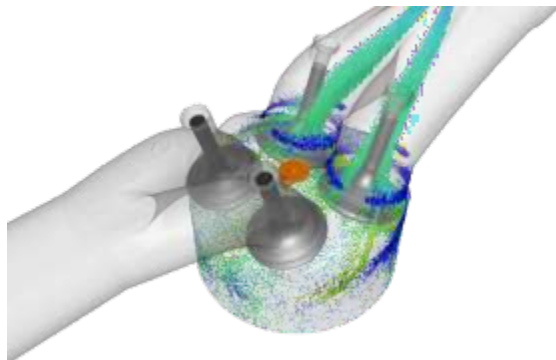


Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**L**aboratorio de máquinas térmicas  
Motores de combustión interna  
Ensayo a plena carga de un motor de combustión interna



Versión original:	Profesor Juan Rene Roncagliolo
Versión actual:	Profesor Cristóbal Galleguillos Ketterer
Ayudantes:	Eduardo Suazo Campillay (docs) Ignacio Ramos Vera (lab)
Versión:	20200401

Marcelo Sebastián León Vargas

## Contenido

1	Introducción .....	3
1.1	Objetivo general.....	3
1.1.1	Objetivos específicos .....	3
2	Ensayo de un motor diésel a plena carga.....	3
2.1	Procedimiento de ensayo.....	3
2.2	Instalación .....	3
2.3	Equipo a ensayar .....	4
2.4	Principales parámetros.....	4
2.4.1	Datos previos.....	4
2.4.2	Fórmulas y ecuaciones empíricas.....	5
2.5	Procedimiento de adquisición de datos sugerido .....	5
2.5.1	Tabla de valores medidos.....	5
3	Desarrollo.....	6
4	Bibliografía .....	9
5	Anexos.....	10
5.1	Datos técnicos motor F3L 912 [2].....	10
5.2	Curvas motor F3L 912.....	11
5.3	Ejemplo de cálculo de torque [3]. .....	12
5.4	Ejemplo de curvas experimentales (no corresponden al motor ensayado).....	13
5.5	Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes [3]. .....	14
5.6	Consumo de combustible motores DEUTZ [2]. .....	15

# 1 Introducción.

Este documento describe uno de los procedimientos para determinar el funcionamiento a plena carga de un motor a combustión interna

## 1.1 Objetivo general

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

### 1.1.1 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).

# 2 Ensayo de un motor diésel a plena carga.

## 2.1 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.

## 2.2 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<sup>3</sup> y a 250 cm<sup>3</sup>
  - Filtros

### 2.3 Equipo a ensayar

Se ensayara 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)

### 2.4 Principales parámetros.

La mayorías de las ecuación 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> <sup>3</sup>	<i>cm</i> <sup>3</sup>
<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 <sup>1</sup>	200	268
<i>L</i>	Escala de lectura del dinamómetro <sup>2</sup>	<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>bmep</i>	Presión media efectiva	<i>hp</i>	<i>kW</i>

#### 2.4.1 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*<sup>3</sup>).
- Gravedad específica del combustible Diésel.
- Número de tiempos del motor.
- Número de vueltas por ciclo del cigüeñal.
- La constante del dinamómetro.

<sup>1</sup> Se presenta la constante del dinamómetro del que se encuentra en el banco de pruebas del laboratorio.

<sup>2</sup> Considerar la procedencia del dinamómetro (inglesa) para el desarrollo de los cálculos de potencia al freno.

## 2.4.2 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:

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

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

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

## 2.5 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.

### 2.5.1 Tabla de valores medidos.

Registre los datos de acuerdo al 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.

### 3 Desarrollo.

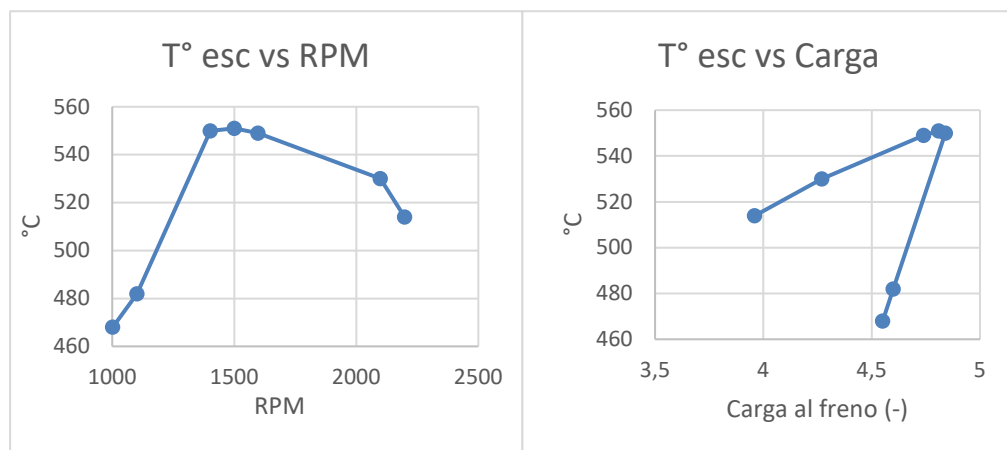
- Tabla de valores medidos

N°	Velocidad Referencia	Velocidad Real	Valores Medidos							
	[rpm]	[rpm]	Carga Freno [-]	Vcomb [cm <sup>3</sup> /s]	tcons [s]	Tamb [°C]	Tadm [°C]	Taceite [°C]	Tesc [°C]	Apadm [mmH2O]
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 cálculos experimental

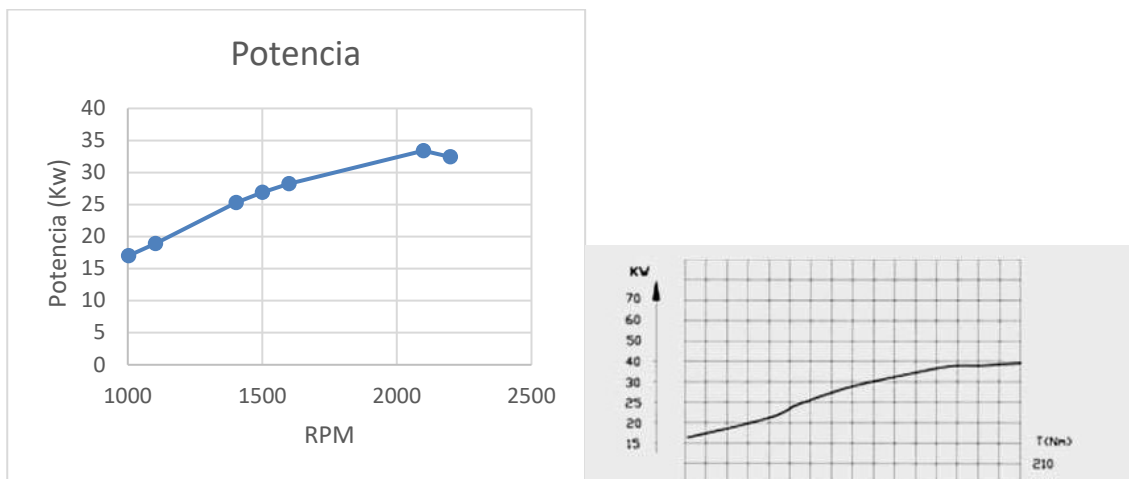
N°	Velocidad Real (rpm)	Potencia al freno (hp)	Presion Media efectiva	Torque (Lb * pie)	Potencia (KW)	Consumo especifico (gr/kwh)	Torque (Nm)
1	1002	22,7955	104,4521739	119,483	16,99860435	171,1370445	161,9950514
2	1102	25,346	105,6	120,796	18,9005122	173,1554806	163,7752168
3	1402	33,9284	111,1095652	127,0984	25,30040788	175,1263953	172,3200107
4	1500	36,075	110,4208696	126,3106	26,9011275	172,6753382	171,2519115
5	1598	37,8726	108,813913	124,4724	28,24159782	167,1757917	168,7596799
6	2098	44,7923	98,02434783	112,1302	33,40161811	172,4467354	152,0261252
7	2198	43,5204	90,90782609	103,9896	32,45316228	177,4865559	140,9890997

- Grafica experimental de temperatura de escape



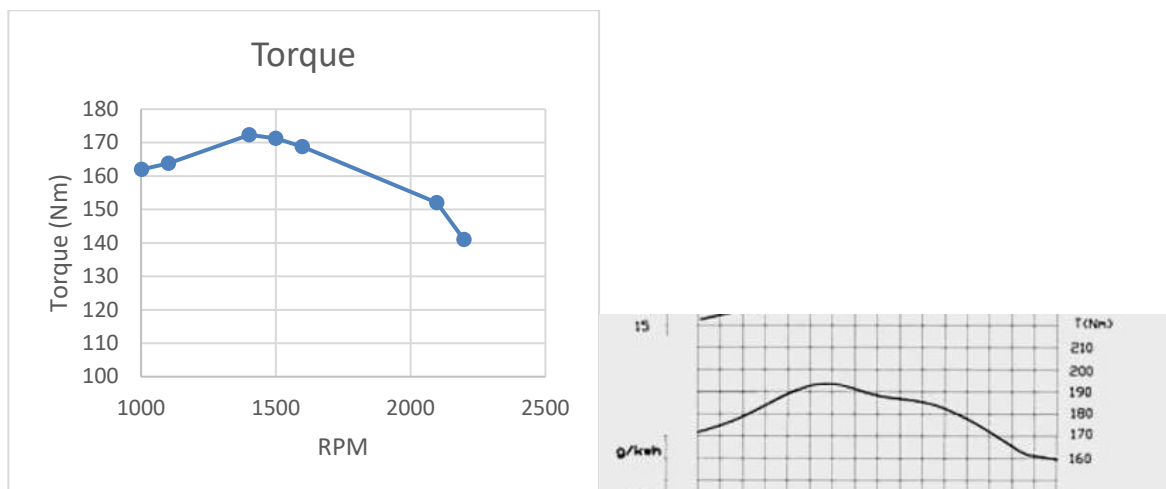
\*Se observa un aumento de la temperatura según la carga que experimenta el motor, siendo un aumento de carga al freno un aumento de temperatura, por consiguiente una menor carga al freno indica una menor temperatura de gases de escape.

- Comparativa grafico de potencia experimental vs potencia teorica (Anexo 5.2)



\*Se nota una similitud en lo que se obtuvo experimentalmente con lo teorico, se pueden observar del grafico que según las rpm aumentan la potencia también aumenta, pero existe un punto en donde el motor alcanza la potencia máxima y desde este punto, esta empieza a disminuir.

- Comparativa de graficos de torque experimental – torque teórico (Anexo 5.2)



\*Los graficos presentan un comportamiento similar entre lo teorico y experimental, se observa que el máximo par motor se alcanza a bajas revoluciones ya que cuando estas aumentan el par empieza a disminuir considerablemente. Esto se debe a las características del diseño del motor ya que después de ciertas rpm comienzan a aparecer dificultades como por ejemplo, problemas en la evacuación de los gases, insuficiencias en el llenado del cilindro lo que conlleva a combustiones no optimas.

- Comparativa graficos de consumo experimental – consumo teorico (Anexo 5.2)

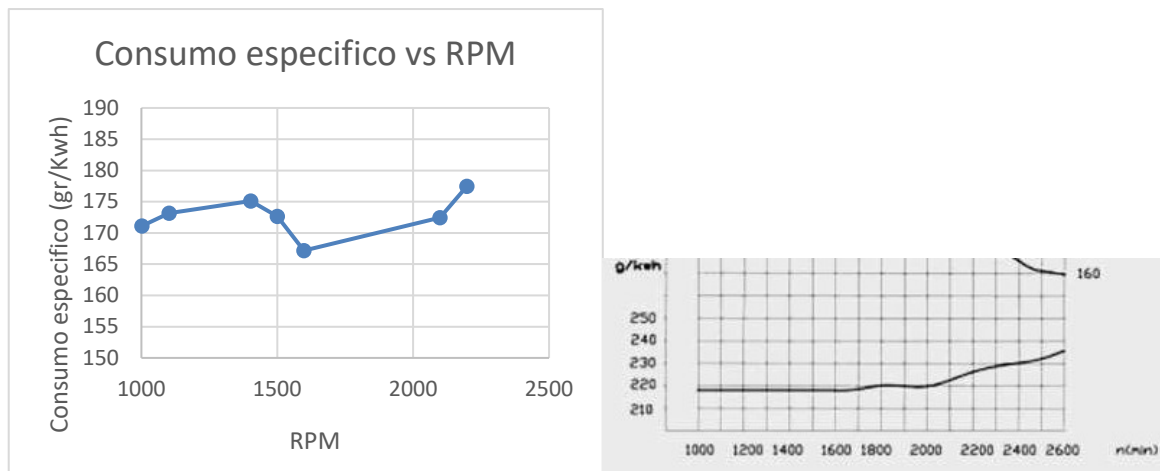
$$\text{Consumo especifico} = \frac{\frac{V_{comb} \cdot \rho}{T_{cons}}}{Pot}$$

-  $V_{comb}$  = volumen combustible ( $cm^3$ )

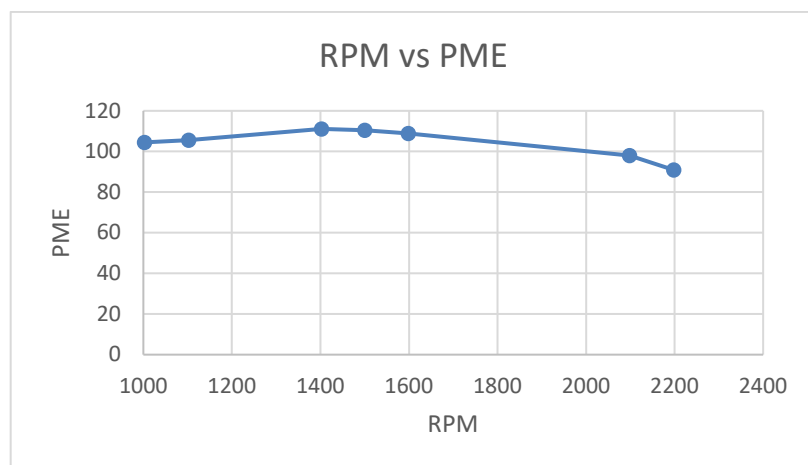
-  $\rho$  = densidad petroleo  $0,64 \frac{gr}{cm^3}$

-  $T_{cons}$  = Tiempo (hr)

-  $Pot$  = potencia calculada (Kw)



- Grafico experimental de presión media efectiva



<sup>3</sup> Los datos serán tomados en laboratorio y/o proporcionados por el equipo.

<sup>4</sup> Tip: Grafique los datos experimentales como gráficos de dispersión de líneas rectas y los obtenidos por CFD como dispersión con puntos



## 4 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.

## 5 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 <sup>5)</sup>	300 <sup>5)</sup>	380 <sup>5)</sup>	410 <sup>5)</sup>
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 <sup>4)</sup>			
Cantidad de primer cambio de aceite sin filtro aprox. [litr.]	9,0 <sup>3)</sup>	12,0 <sup>3)</sup>	13,5 <sup>3)</sup>	14,5 <sup>3)</sup>
Cantidad de primer cambio de aceite con filtro aprox. [litr.]	9,5 <sup>3)</sup>	12,5 <sup>3)</sup>	14,0 <sup>3)</sup>	15,5 <sup>3)</sup>
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 <sup>2)</sup>			
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).

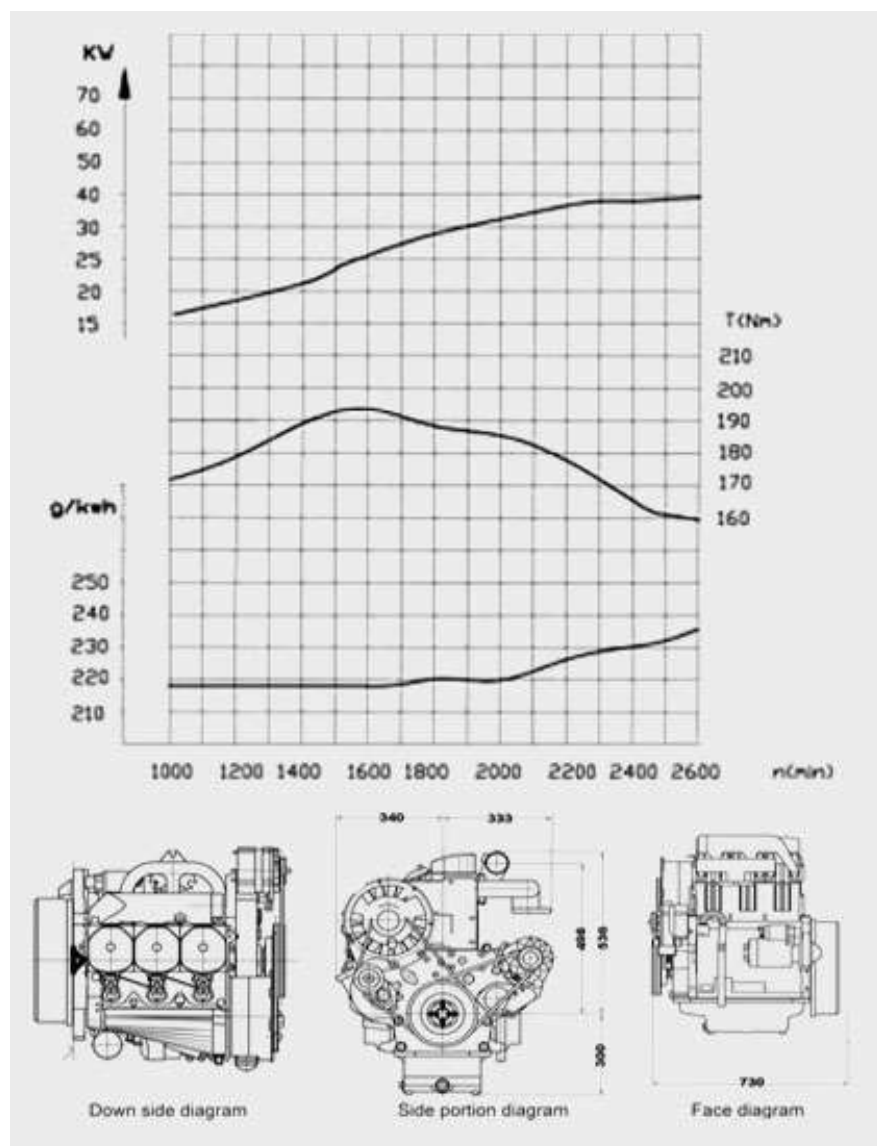
2) Retensar después de 15 minutos, en los cuales el motor ha funcionado bajo carga.

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.

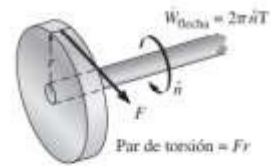


FIGURA 2-30

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

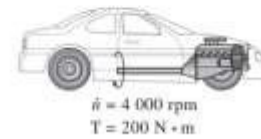
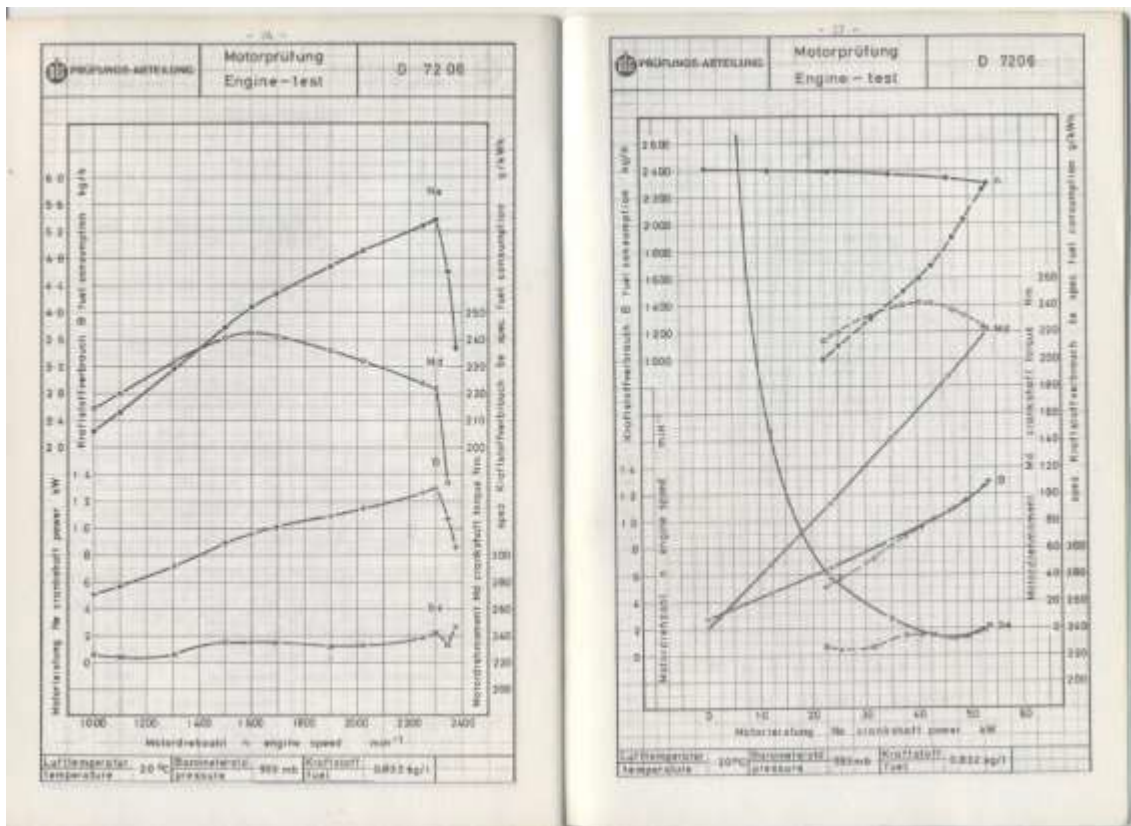


FIGURA 2-31

## 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 $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	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].

