

ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

# Informe Laboratorio de Máquinas: Ensayo a plena carga de un motor de combustión interna

Laura Constanza Salinas Pizarro  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
laura.salinas.p@gmail.com

6 de octubre de 2020

# Índice

<b>1. Introducción.</b>	<b>3</b>
1.1. Objetivo general . . . . .	3
1.1.1. Objetivos específicos . . . . .	3
<b>2. Ensayo de un motor diésel a plena carga.</b>	<b>4</b>
2.1. Prodecimiento de ensayo . . . . .	4
2.2. Instalación . . . . .	4
2.3. Equipo a ensayar . . . . .	4
2.4. Principales parámetros . . . . .	4
2.4.1. Datos previos . . . . .	5
2.4.2. Fórmulas y ecuaciones empíricas. . . . .	5
2.5. Procedimiento de adquisición de datos sugerido. . . . .	6
2.5.1. Tabla de valores medidos. . . . .	6
<b>3. Trabajo de investigación aplicada.</b>	<b>7</b>
3.1. Tabla de valores obtenidos en el ensayo. . . . .	7
3.2. Gráficos de Potencia al freno, Torque y Consumo específico. . . . .	7
3.3. Comparación gráficos propios con gráficos ANEXO 5.2 . . . . .	8
3.4. Comportamiento de la Temperatura del aceite y de la Temperatura de escape. . . . .	10
3.5. Presión media efectiva. . . . .	10
<b>4. Bibliografía.</b>	<b>12</b>
<b>5. Anexos.</b>	<b>13</b>
5.1. Datos técnicos motor F3L 912 [3]. . . . .	13
5.2. Curvas motor F3L 912. . . . .	14
5.3. Ejemplo de cálculo de torque [4]. . . . .	15
5.4. Ejemplo de curvas experimentales (no corresponden al motor ensayado) . . . . .	16
5.5. Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes [4]. . . . .	17
5.6. Consumo de combustible motores DEUTZ [3]. . . . .	18

# **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. Prodecimiento 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.

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

#### 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.

#### 2.4.2. Fórmulas y ecuaciones empíricas.

Potencia al freno:

$$bp = \frac{N * L}{K} \quad (1)$$

Presión media efectiva:

$$bmp = \frac{E * \alpha}{D * N} * bp \quad (2)$$

Torque:

$$T = \frac{bp * 5,252}{N} (sistemaininglés) \quad (3)$$

$$T = \frac{60 * 1,000 * bp}{2 * \pi * N} (Nm) \quad (4)$$

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

<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.

## 2.5. 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.

Nº	Velocidad Referencia [rpm]	Velocidad Real [rpm]	Carga Freno [-]	Vcomb [cm <sup>3</sup> ]	tcons [s]	Tamb [°C]	Tadm [°C]	Taceite [°C]	Tesc [°C]	padm [mmH <sub>2</sub> 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

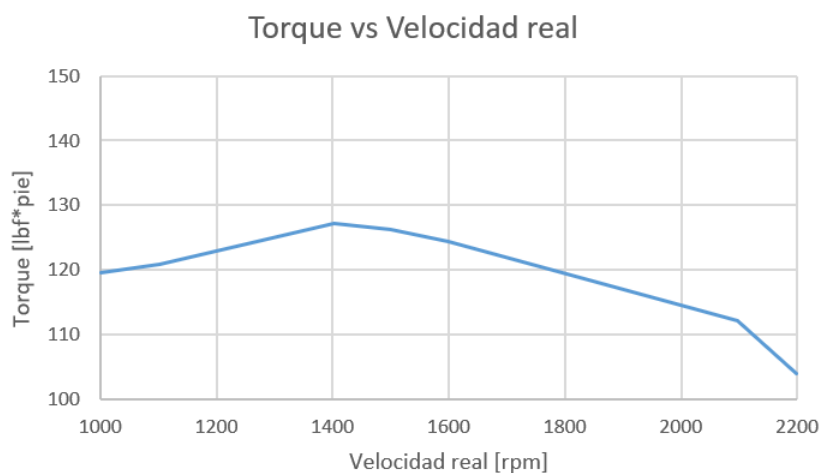
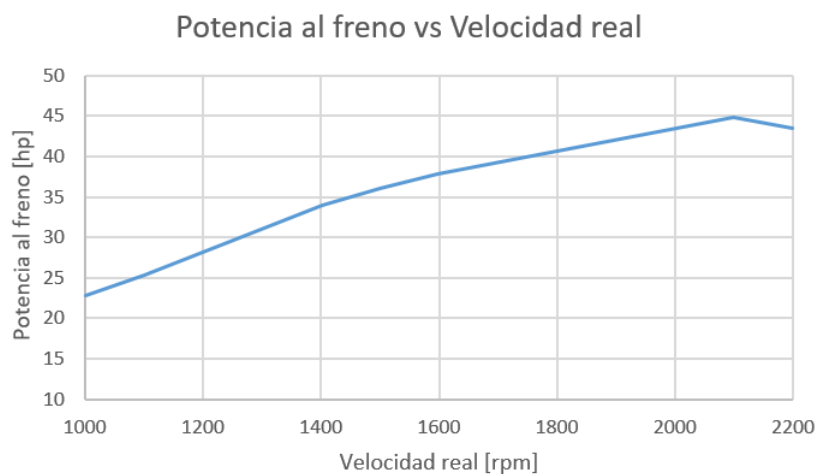
### 3. Trabajo de investigación aplicada.

3

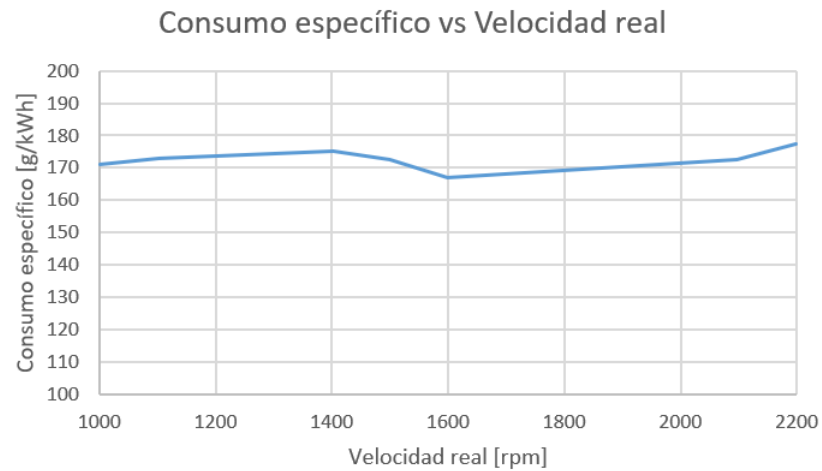
#### 3.1. Tabla de valores obtenidos en el ensayo.

N°	Velocidad Referencia [rpm]	Velocidad Real [rpm]	Potencia al freno [hp]	Potencia media efectiva [hp]	Torque [lbf*pie]	Consumo específico [gr/kWh]
1	1000	1002	22,7955	104,4461	119,483	171,0682
2	1100	1102	25,346	105,5939	120,796	173,0858
3	1400	1402	33,9284	111,1031	127,0984	175,056
4	1500	1500	36,075	110,4145	126,3106	172,6059
5	1600	1598	37,8726	108,8067	124,4724	167,1086
6	2100	2098	44,7923	98,01867	112,1302	172,3774
7	2200	2198	43,5204	90,90256	103,9896	177,4152

#### 3.2. Gráficos de Potencia al freno, Torque y Consumo específico.

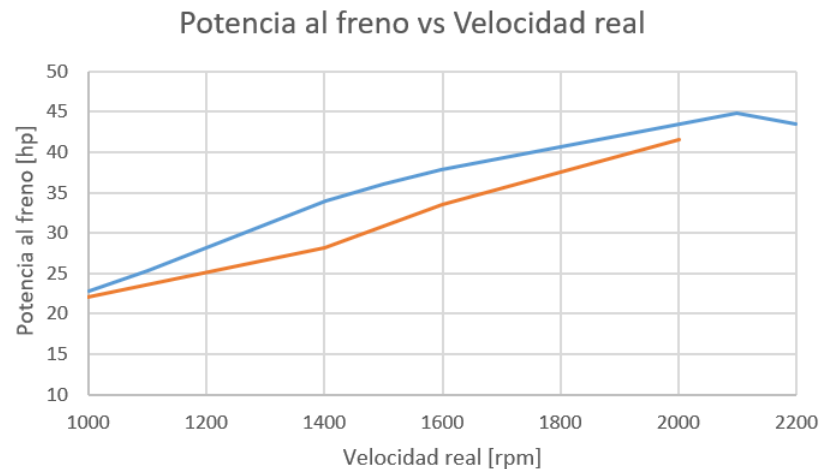


<sup>3</sup>Los datos serán tomados en laboratorio y/o proporcionados por el equipo



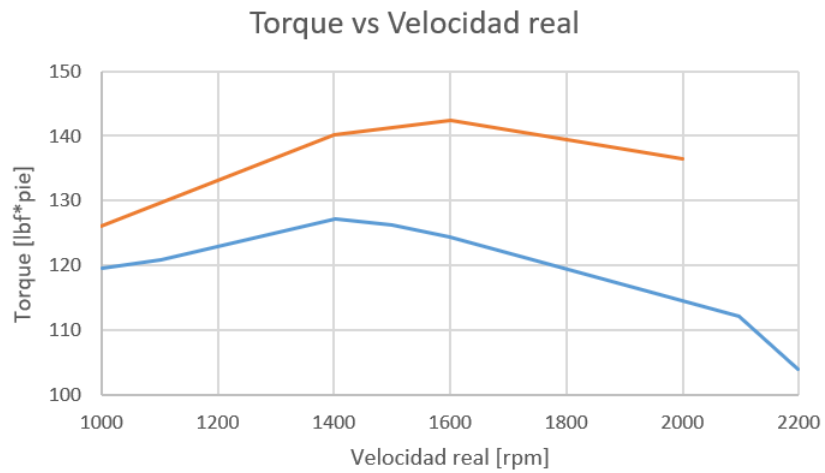
### 3.3. Comparación gráficos propios con gráficos ANEXO 5.2

Se tomaron 4 puntos representativos de los gráficos que se encuentran en el ANEXO 5.2 y se transformaron las unidades de estos a las mismas unidades de los gráficos presentados en la subsección anterior, para así, poder comparar las curvas que se obtuvieron en cada uno de los ensayos.

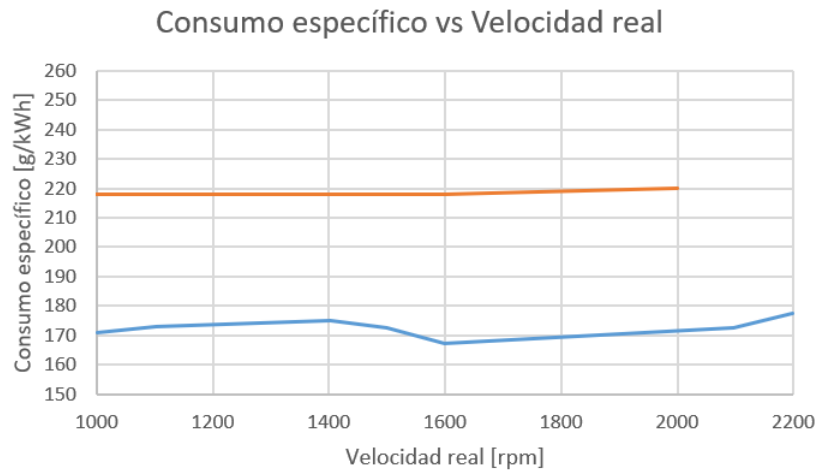


En este gráfico se puede observar que existe una notoria similitud entre las dos curvas, ya que se obtuvieron potencias al freno bastantes parecidas a medida que iban aumentando las rpm. Si bien, en el punto de las 1400 [rpm] existe una mayor diferencia, aun así las curvas conservan su similitud.



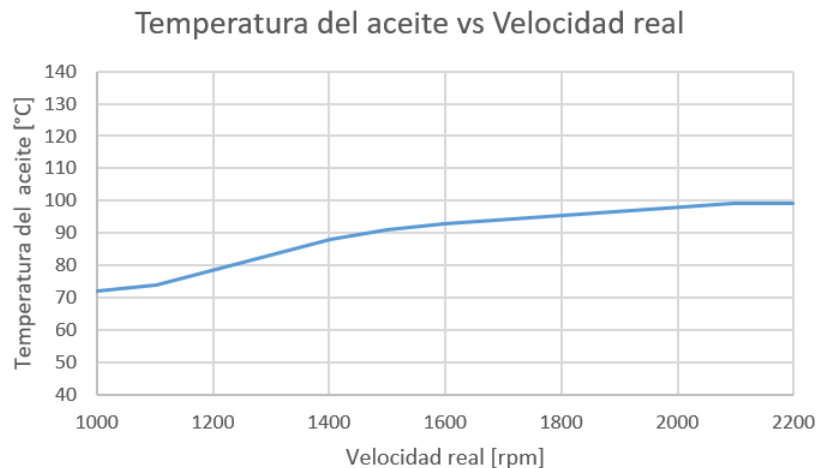


Acá también se puede apreciar una tendencia bastante parecida en las curvas, aún más entre las 1000 y 1400 [rpm]. Luego de esto se nota que las curvas van tomando una mayor distancia entre ellas, esto se debe a que la variación de la potencia al freno es distinta.

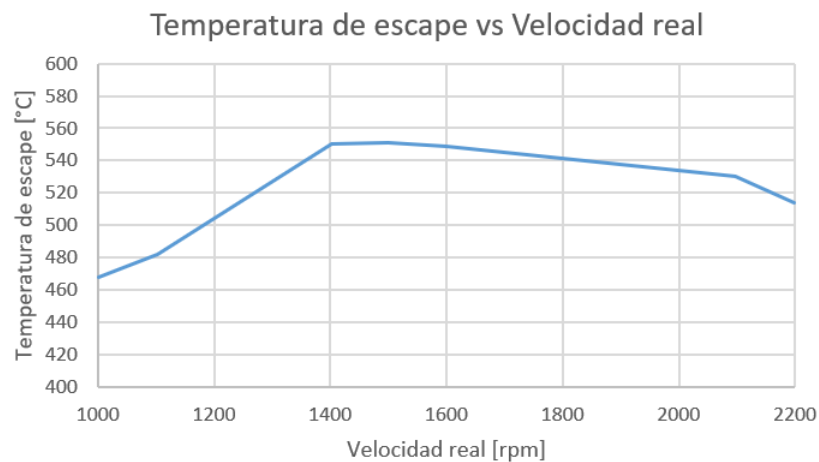


Esta curva es la que presenta una menor similitud, ya que en el caso de los datos obtenidos en el ensayo existe una variación en el consumo específico, mientras que en los datos del ANEXO 5.2 se puede observar que la curva es prácticamente constante. Esta variación es porque el resultado del consumo específico obtenido en el ensayo no corresponde a la curva que se debiese haber obtenido.

### 3.4. Comportamiento de la Temperatura del aceite y de la Temperatura de escape.



En este gráfico se puede observar que a medida que va aumentando la velocidad del motor también aumenta la temperatura del aceite, esto se debe a que a mayor cantidad de vueltas mayor va a ser el roce existente, y por consecuencia aumenta la temperatura del aceite. Entonces se puede decir que la curva presenta un comportamiento normal en relación a lo esperado.

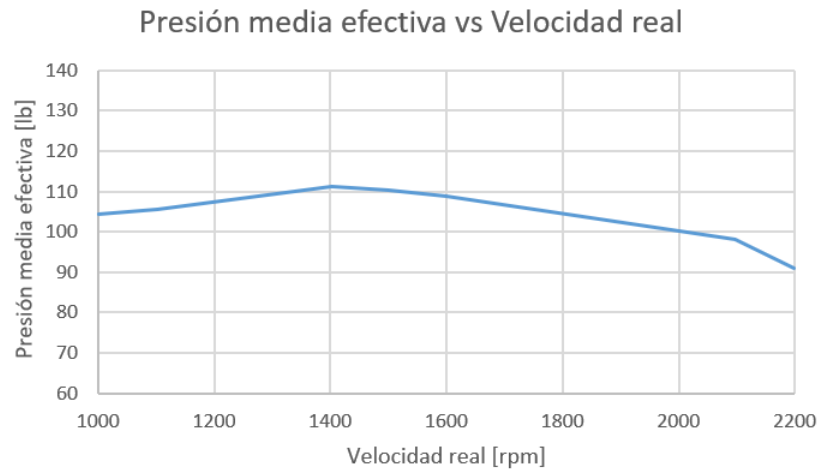


Se puede apreciar que la curva obtenida para los gases de escape en función de la velocidad real es más dispersa, teniendo un mayor cambio entre los 1000 y 1400 [rpm] y tendiendo a la baja desde los 1400 [rpm] hasta los 2200[rpm] que es el valor final del ensayo realizado. De este gráfico se esperaba que los valores fueran un tanto más constantes.

### 3.5. Presión media efectiva.

La presión media efectiva se define como el promedio de todas las presiones instantáneas que ocurren en la combustión y expansión del cilindro.

A continuación se presenta el gráfico de la presión media efectiva calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo:



Al observar el gráfico se puede apreciar que este es bastante similar al gráfico de torque presentado en la subsección 3.2, esta similitud se debe a que ambos dependen principalmente del valor de la potencia al freno. Se puede afirmar además que la tendencia de la curva es la que corresponde.

## 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]			
Potencia del motor	[kW]	270 <sup>5)</sup>	300 <sup>5)</sup>	380 <sup>5)</sup>	410 <sup>5)</sup>
RPM	[1/min]			1) 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 abertura 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).

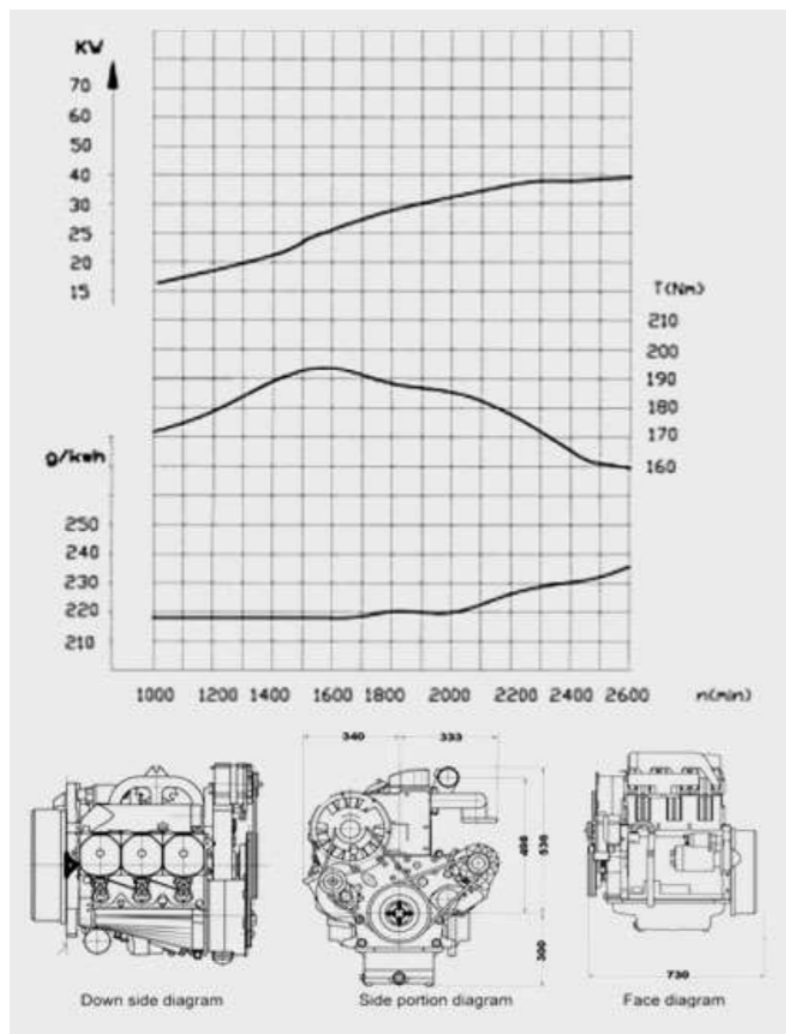
2) Retensar después de 15 minutos, en los cuales el motor ha funcionado bajo carga.

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.

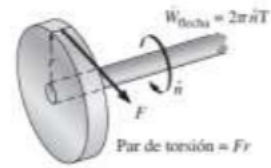


FIGURA 2-30

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

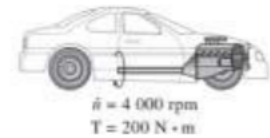
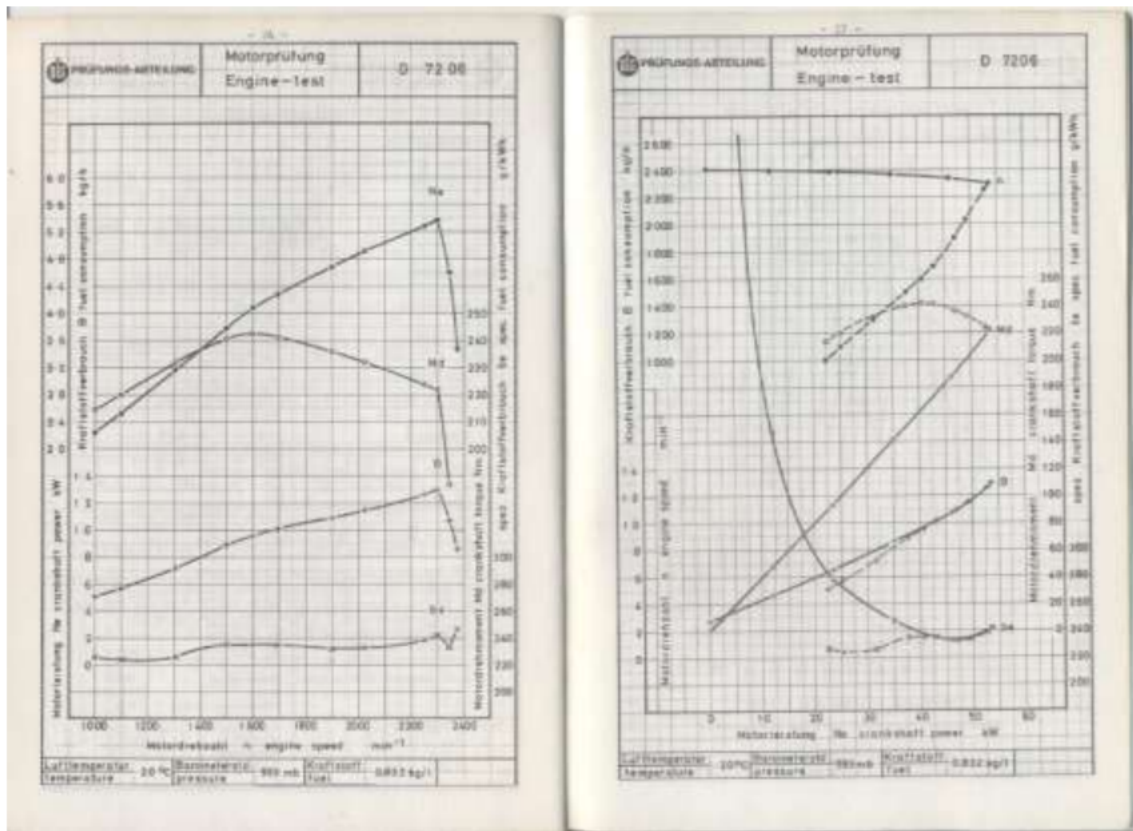


FIGURA 2-31

#### 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 $h_{gf}$ , 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
					-185.6	1394	1.14
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	20	879	1.72
Benceno	80.2	394	5.5	126	-0.5	601	2.31
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	0	298	0.59
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		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].

