

# Informe 03 Laboratorio de máquinas: MCI a plena carga

Teresa Almonacid F.  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Pontificia Universidad Católica de  
Valparaíso  
Cristóbal Galleguillos  
Tomás Herrera  
25 de septiembre de 2020

## 1. Introducción

El presente documento describe el procedimiento de un MCI a plena carga realizado a un motor Deutz F3L912, con el fin de saber cómo se comporta el motor bajo esas circunstancias.

### 1.1. Objetivo general

Ver y analizar el comportamiento del motor cuando trabaja a plena carga

#### 1.1.1. Objetivos específicos

- Graficar las temperaturas y explicar el comportamiento
- Comprender las diferencias entre el torque y la potencia
- Comprender, explicar y comparar las curvas característica del motor ensayado.

## 2. Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	2
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>2. ÍNDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. ENSAYO MOTOR DIÉSEL A PLENA CARGA .....</b>	<b>4</b>
3.1. PROCEDIMIENTO ENSAYO .....	4
3.2. EQUIPO UTILIZADO E INSTALACIÓN .....	4
3.3. EQUIPO A ENSAYAR.....	4
3.3.1. VÁLVULAS MOTOR.....	5
3.4. SIMBOLOGÍA USADA .....	7
3.4.1 FÓRMULAS EMPÍRICAS.....	7
3.5. TABLA DE VALORES MEDIDOS .....	8
3.5.1. TABLA DE VALORES CALCULADOS .....	9
3.5.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS MOTOR .....	9
3.5.3 ANÁLISIS CURVAS CARACTERÍSTICAS .....	11
3.5.4 GRÁFICO DE TEMPERATURAS .....	12
3.5.5 ANÁLISIS GRÁFICOS DE TEMPERATURA .....	14
<b>4. REFERENCIAS.....</b>	<b>15</b>
<b>5. ANEXO.....</b>	<b>15</b>

### 3. Ensayo motor diésel a plena carga

#### 3.1. Procedimiento 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 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.

#### 3.2. Equipo utilizado e instalación

La instalación cuenta con los siguientes equipos [1]:

- Dinamómetro: es un instrumento de medición para los MCI, el cual frena la potencia del motor para poder realizar la medición.
- Termocupla: mide la temperatura de admisión y escape.
- Tacómetro: encargado de medir las RPM.
- Mesa universal de montaje de motores.
- Sistema de alimentación de freno: está compuesto por la motobomba, piping y pozo.
- Sistema volumétrico de medición del consumo de combustible y de alimentación de combustible: está compuesto de un tanque de 25 lt. Probetas graduadas a 125 cm<sup>3</sup> y 250 cm<sup>3</sup> y filtros.

#### 3.3. Equipo a ensayar

Para este laboratorio se realizó el ensayo en un motor Deutz F3L912 el cual está compuesto por:

- 3 cilindros
- Aspiración natural
- Freno hidráulico
- No posee turbo
- Inyección directa

Dentro de los datos más relevantes sacados de la ficha técnica del motor [2], podemos encontrar lo siguiente:

Tabla 3.1

Datos técnicos motor Deutz F3L912	
Cilindrada total (cm <sup>3</sup> )	2827
Sistema de trabajo	4 tiempos
Diámetro cilindro (mm)	100
Carrera cilindro (mm)	120
Relación de compresión [-]	19
Densidad combustible (kg/m <sup>3</sup> )	680
Capacidad calorífica combustible (kJ/Kg)	43100

### 3.3.1. Válvulas motor

En este motor podemos encontrar 2 estados distintos en las válvulas, y estas varían según la posición del cigüeñal [2]:

- Posición del cigüeñal **1**

El motor debe girar hasta que se produzca el cruce de válvulas en el cilindro 1

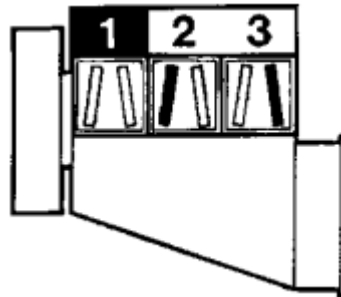
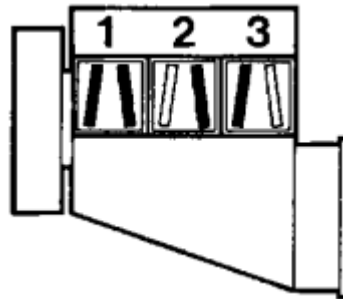


Ilustración 1: esquema representativo

Simbología:



- Posición del cigüeñal 2:  
El motor sigue girando una vuelta entera ( $360^\circ$ )



*Ilustración 2: esquema representativo*

*Tabla 3.2*

Datos válvulas del motor	
Cotas de reglaje con el juego de válvulas ajustado	-
Admisión abre ante PMS (grado)	34
Admisión cierra tras PMI (grado)	65
Escape abre ante PMI (grado)	76
Escape cierra tras PMS (grado)	35
Presión de apertura de la válvula de control de caudal bar Bomba de aceite lubricante: 40 + 60 litros / min. 70 + 80 litros / min.	5,5-6,5 5,0-6,0
Ajuste de juego de válvulas admisión (mm)	$0,15 \pm 0,05$
Ajuste de juego de válvulas escape (mm)	$0,15 \pm 0,05$

### 3.4. simbología usada

Para poder realizar los cálculos pedidos, se usaron los siguientes parámetros y factores de corrección:

Tabla 3.3

Símbolo	Definición	Unidades SI
C	Presión barométrica	mm Hg
D	Cilindrada	Cm <sup>3</sup>
E	Factor de corrección para unidades de trabajo	600.000
F	Consumo de combustible	gr/hr
G	Constante de potencia	955
K	Constante del dinamómetro	268
L	Escala de lectura del dinamómetro (carga al freno)	kp
N	Velocidad del motor	Rpm
T	Torque	N m
A	Revoluciones del cigüeñal por ciclo	-
Bp	Potencia al freno	kW
Bmep	Presión media efectiva	kPa
ρ comb	Densidad combustible	Kg/m <sup>3</sup>
Cp comb	Capacidad calorífica combustible	kJ/Kg
Ce comb	Consumo específico de combustible	gr/hr kW
Q comb	Caudal volumétrico combustible	m <sup>3</sup> /hr

#### 3.4.1 Fórmulas empíricas

Potencia al freno:

$$bp = \frac{N \cdot L}{K} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Presión media efectiva:

$$bmep = \frac{E \cdot a}{D \cdot N} \cdot bp \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Torque:

$$T = \frac{60 \cdot 1000 \cdot bp}{2 \cdot \pi \cdot N} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Caudal volumétrico:

$$Q_{comb} = \frac{3600 * V_{comb}}{10^6 * T_{cons}} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Consumo combustible:

$$F = \rho * Q_{comb} * 1000 \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Consumo específico del combustible:

$$C_e = \frac{F}{bp} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

### 3.5. Tabla de valores medidos

Una vez realizado el ensayo se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 3.4

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



### 3.5.1. Tabla de valores calculados

Con los valores que se obtuvieron sumado a los datos que teníamos del motor y del combustible aplicamos las fórmulas vistas en el punto 3.4.1., consiguiendo los siguientes valores:

Tabla 3.5

K	G	Bp	E	D	Bpme	T	Densidad	Cp	Qcomb	F	Ce
[-]	[-]	kW	[-]	[cm3]	kPa	Nm	Kg/m3	kJ/Kg	m3/hr	gr/hr	gr/kW*hr
268	955	17,01157	600000	2827	7,206627	162,1242517	820	2	0,004545	3727,273	219,1023
268	955	18,91493	600000	2827	7,285821	163,9058369	820	2	0,005114	4193,182	221,6864
268	955	25,3197	600000	2827	7,66595	172,4574458	820	2	0,006923	5676,923	224,2097
268	955	26,92164	600000	2827	7,618434	171,3884947	820	2	0,007258	5951,613	221,0717
268	955	28,26313	600000	2827	7,507563	168,8942754	820	2	0,007377	6049,18	214,0308
268	955	33,42709	600000	2827	6,763142	152,1473747	820	2	0,009	7380	220,779
268	955	32,47791	600000	2827	6,272141	141,1015466	820	2	0,009	7380	227,2314

### 3.5.2. Curvas características motor

Una vez calculado todos esos datos podemos graficar las curvas características del motor:

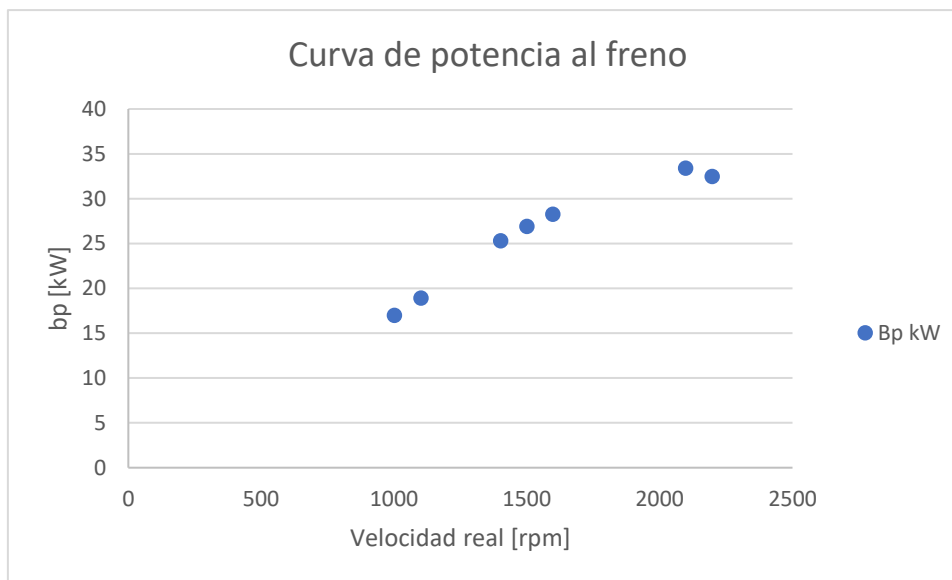


Gráfico 1

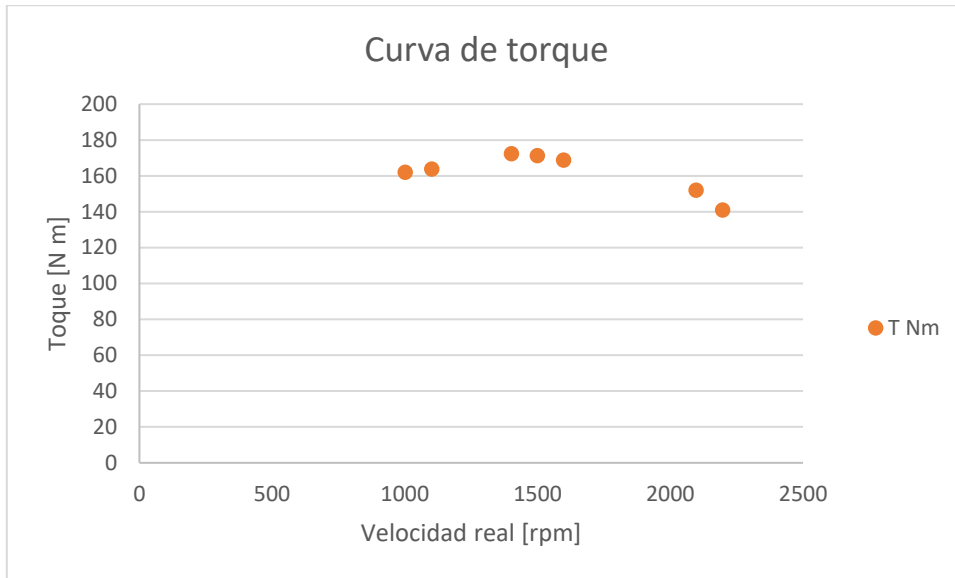


Gráfico 2

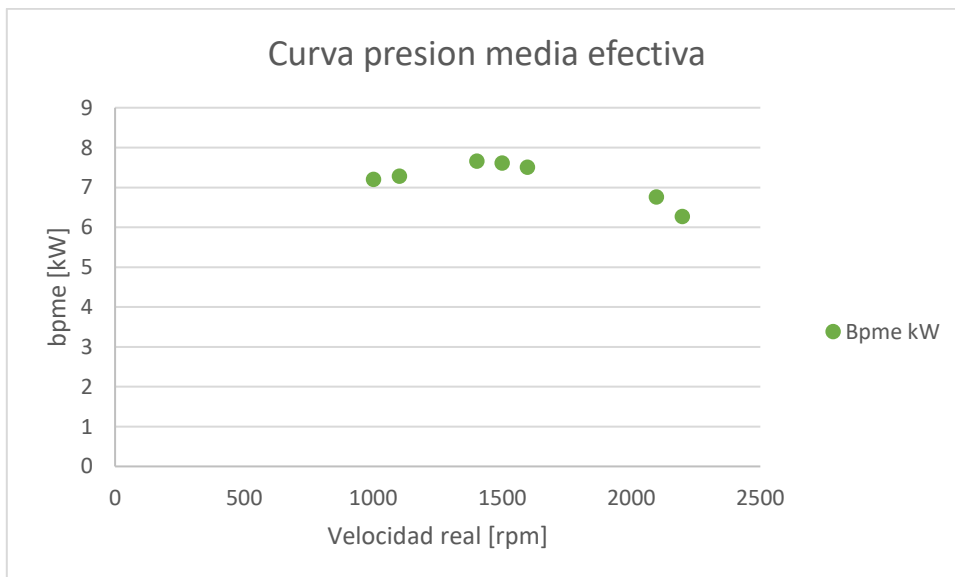


Gráfico 3

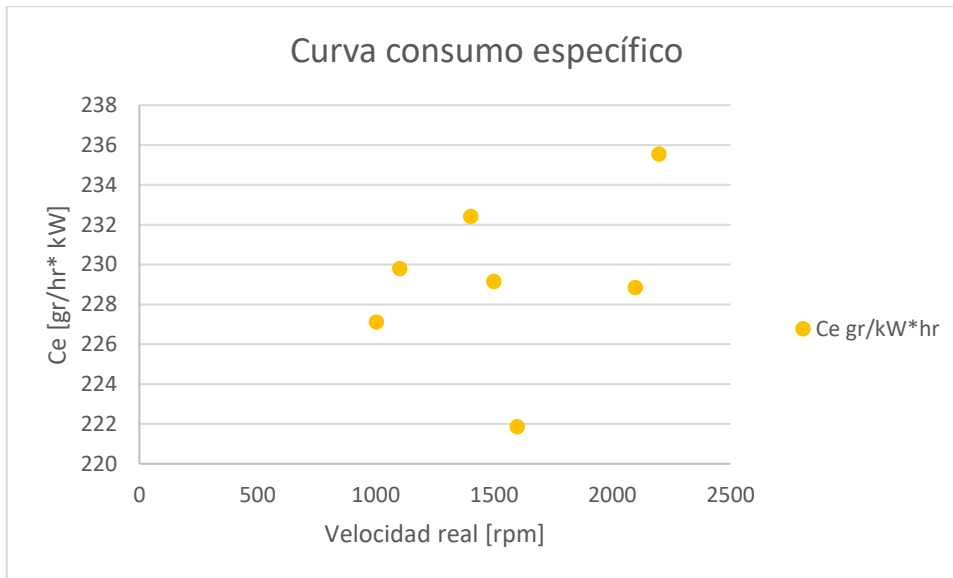


Gráfico 4

### 3.5.3 Análisis curvas características

En este análisis se hará una comparación entre las curvas calculadas en el archivo Excel v/s las curvas teóricas del motor que se adjuntan en el anexo

- En el caso de la curva de potencia podemos ver que la curva teórica es bastante parecida a la curva ensayada, con la diferencia que la curva teórica una vez que llega a su máximo se corta, mientras que en la curva del ensayo una vez que llega a su punto máximo (o punto de corte) comienza a descender, eso debido a que el motor corta el combustible en ese punto. En esta curva debemos fijarnos cuando requerimos que el motor soporte altas velocidades.
- Para la curva del torque podemos decir que, si bien es similar a la curva teórica del torque la curva real va a ser mas parecida a una “sonrisa invertida” que a la “punta” de un cerro. La curva del torque se puede dividir en 2, la primera parte que corresponde al ascenso de la curva nos indica que a bajas rpm el gas tiene mucha inercia y cuesta que vacíe el cilindro; en el punto máximo de la curva podemos decir que la inercia es baja, por lo que en ese punto es donde se inyecta el combustible; finalmente la curva comenzará a descender debido a que tendremos una menor presión. En esta curva nos fijamos cuando necesitamos un motor que soporte altas cargas
- En cuanto a la curva de presión media efectiva podemos decir que su forma es muy similar a la curva del torque, eso se debe a que la PME se calcula con la potencia al freno que también es la utilizada para poder despejar el torque
- Finalmente, la curva de consumo específico es totalmente distinta a la mostrada en las curvas teóricas del motor, esto se puede explicar debido a que al ir aumentando las rpm va disminuyendo los tiempos esto afecta en el caudal volumétrico y por consiguiente en el consumo del combustible, cambiando finalmente la forma de la curva de consumo específico, mientras que la curva teórica no toma en cuenta estas variaciones en los tiempos generando una curva más constante en comparación a la curva ensayada.

### 3.5.4 Gráfico de temperaturas

Los datos utilizados son los mismos mostrados anteriormente, aunque en la tabla 3.6 se puede ver de mejor forma

Tabla 3.6

Velocidad Real	Tamb	Tadm	Taceite	Tesc
[rpm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1002	18	29	72	468
1102	18	29	74	482
1402	18	27	88	550
1500	18	28	91	551
1598	18	29	93	549
2098	20	29	99	530
2198	20	29	99	514

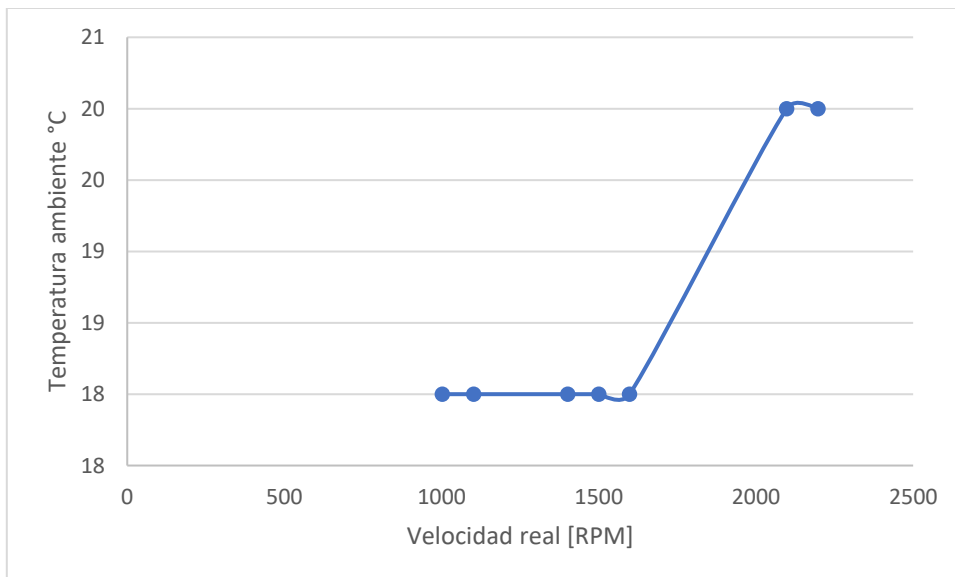


Gráfico 5

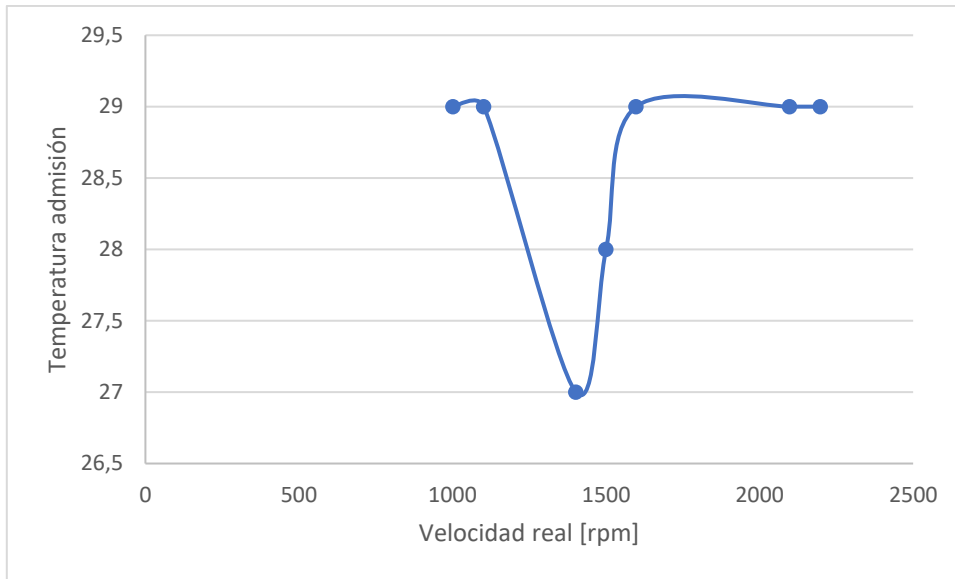


Gráfico 6

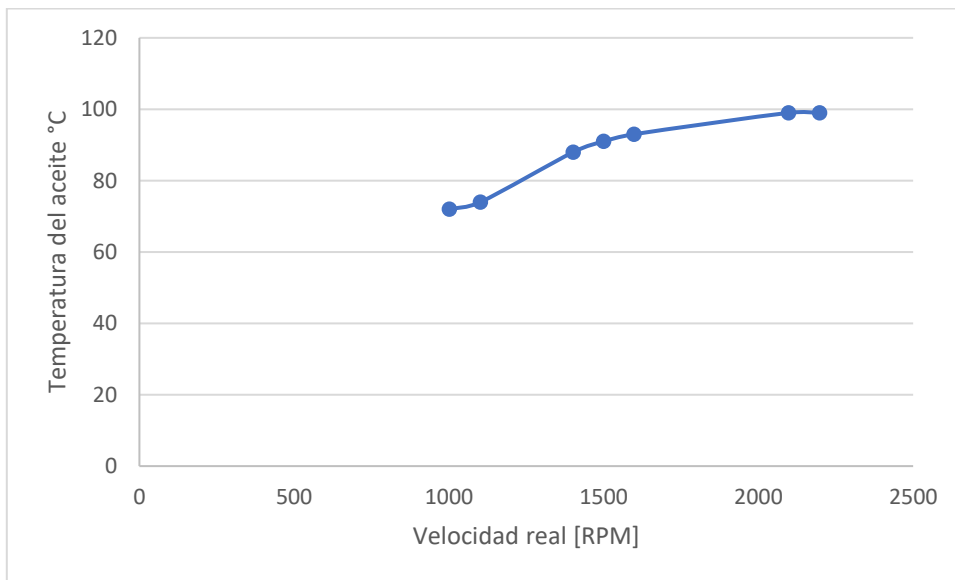


Gráfico 7

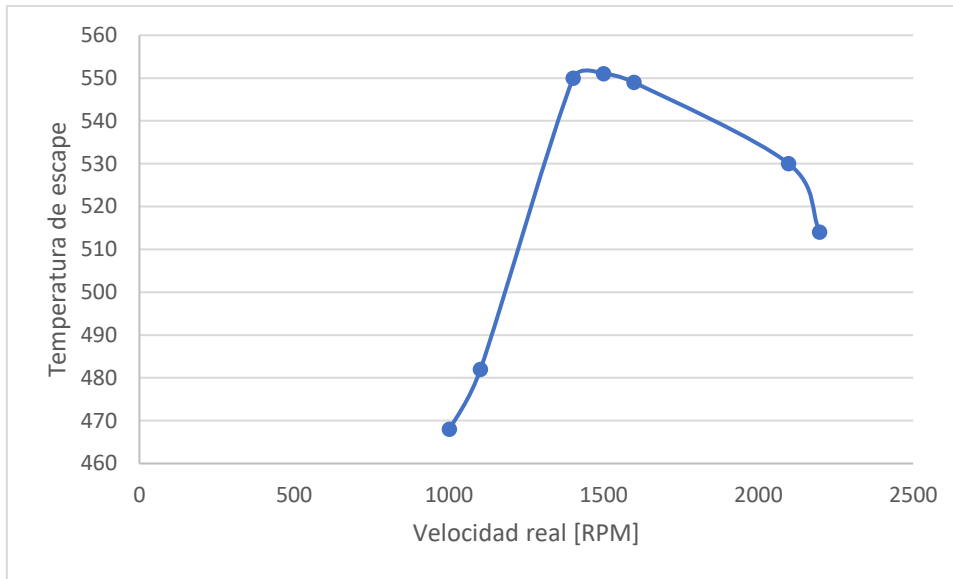


Gráfico 8

### 3.5.5 Análisis gráficos de temperatura

En el caso del gráfico de temperatura ambiente no es rara su curva, debido a que esta es un factor externo del ensayo ya que no depende del motor, sino de las condiciones climáticas externas o de la temperatura del lugar en donde se realiza el ensayo por lo que no es raro que no varíe mucho a lo largo del ensayo.

En el gráfico número 6, el cual corresponde a la temperatura de admisión es normal que la temperatura de este sea mayor a la de admisión, esto debido a que el múltiple de escape va unido al múltiple de admisión, y el múltiple de escape al ir a altas temperaturas eleva la temperatura del múltiple de admisión elevando la temperatura ambiente y generando una nueva temperatura conocida como temperatura de admisión. Es por ello que no se explica la forma del gráfico ya que la temperatura ambiente fue prácticamente constante en el tiempo durante el ensayo, y la temperatura de escape fue creciendo a medida que aumentaban las rpm, y como consecuencia de estos hechos la temperatura de admisión debió haber aumentado constantemente sin haber sufrido una caída de temperatura como es lo que si ocurrió en este ensayo y podemos verlo en la tabla 3.6.

En el gráfico 7, podemos ver el comportamiento de la temperatura del aceite el cual es normal que tenga esta forma ya que a medida que aumentan las rpm va a aumentar la temperatura del aceite del motor.

Finalmente, en el último gráfico el número 8 se puede apreciar que la temperatura subió hasta las 1500 rpm aproximadamente y después comienza a disminuir, esto se puede explicar debido a que a las 1500 rpm app se encuentra el punto de corte (o el punto donde la potencia y torque son máximos) y en ese punto es donde se inyecta el combustible lo cual provocaría que la temperatura de escape descendiera unos grados Celsius.

## 4. Referencias

### Referencias

- [2]. Deutz. (s.f.). *Manual de Taller*.  
[1]. Ketterer, C. G. (2020). *Laboratorio de máquinas térmicas motores de combustión interna ensayo a plena carga de un motor de combustión interna*.

## 5. Anexo

912 TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)							
TABLA A-3							
Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes							
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	0.99
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.)

