

Sesión N° 3

Ensayo a plena carga de un motor de combustión interna

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)

Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 3

Nombre: 8501

Fecha: 30 de octubre de 2020

1 Resumen

Se presenta un resumen de las conclusiones del análisis comparativo obtenido del motor ensayado y de los datos proporcionados por el fabricante del motor Deutz modelo F3L912.

- La máxima fuerza que puede producir el motor ensayado es de 172,3[Nm] a 1402 [rpm].
- La máxima eficiencia entre Torque y Potencia del motor ensayado se logra cercano a las 2000 [rpm].
- Los valores de Torques logrados por el motor Deutz F3L912 son mayores comparados al motor ensayado. Se puede inferir que el motor ensayado entrega menos fuerza que el motor F3L912 en el mismo rango de revoluciones.
- La máxima potencia de freno que puede producir es de 33,4[Kw] a 2098 [rpm].
- El máximo Torque y Potencia al freno no están presentes a las mismas revoluciones.
- La máxima eficiencia entre Torque y Potencia del motor ensayado se logra cercano a las 2000 [rpm].
- El consumo específico del motor ensayado presenta un rendimiento pobre en comparación a la Potencia entregada vs el rendimiento del motor Deutz F3L912.

2 Índice

Contenido

1 Resumen	2
2 Índice	3
3 Introducción	5
4 Objetivos.....	6
5 Metodología/Procedimientos.....	7
6 Resultados.....	10
6.1 Motor Diesel ensayado:.....	10
6.1.1 Torque vs Potencia al freno	10
6.1.2 Consumo específico.....	11
6.1.3 Presión media efectiva.....	11
6.2 Análisis comparativo con motor F3L912 dado por el fabricante.....	12
6.2.1 Torque	12
6.2.2 Potencia al freno(bp).....	12
6.2.3 Consumo específico.....	13
6.3 Análisis comparativo mediante suposición de análisis en CDF.....	14
6.3.1 Temperaturas.....	14
7 Conclusión.....	16
7.1 Torque:.....	16
7.2 Potencia:	16
7.3 Consumo específico:	16
7.4 Temperaturas.....	17
8 Referencias.....	18
9 Anexo	19
9.1 Tabla de valores medidos de plena carga	19

9.2. Tabla de valores calculados	19
9.3 Tabla con los valores dados para un motor diésel Deutz modelo F3L912	20

3 Introducción

Este informe describe uno de los procedimientos para determinar el funcionamiento a plena carga de un motor a combustión interna. Para esto se compararán los valores de presión media efectiva, potencia efectiva, consumo específico de combustible, presión de admisión, temperatura del aceite, temperatura de gases de escape, en función de la velocidad del motor a plena carga con los valores dados por el fabricante del motor.

4 Objetivos

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

Tomando en cuenta:

- 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.

5 Metodología/Procedimientos.

Antes de que se procediera con la experiencia se definen parámetros del motor ensayado, los cuales son:

- Numero de tiempos del motor: 4
- Numero de vueltas por ciclo del cigüeñal: 2
- Volumen de la bureta a ensayar: 125[cm²]
- Constante del dinamómetro¹: 600.000[–]
- Gravedad específica del combustible²: $0,85 \frac{gr}{cm^3}$
- El ensayo se desarrolla de acuerdo a la norma ENGINE RATING CODE DIESEL –SAE J270.

Se ensayo un motor diésel Deutz modelo F3L912, de tres cilindros, para esto se utilizaron los siguientes equipos:

- 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

Para la realización de la experiencia se siguieron los siguientes pasos:

1. Poner en funcionamiento el registrador de temperaturas.

¹ Se presenta la constante del dinamómetro del que se encuentra en el banco de pruebas del laboratorio

² Dato obtenido del libro Termodinámica 6th edición, Yunus A. Cengel.

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 1100 ± 5 [rpm]. Tomar las lecturas de acuerdo al 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.

Para el desarrollo correspondiente, se definen parámetros de presión al freno, presión media efectiva y torque, mediante las siguientes formulas y ecuaciones empíricas:

- Potencia al freno:

$$bp = \frac{N * L}{K} [Kw]_{(1)}$$

donde N=velocidad del motor, L=carga del freno. K=constante del dinamómetro.

- Presión media efectiva:

$$bmep = \frac{E * a}{D * N} * bp [Kpa]_{(2)}$$

donde E=factor de corrección para unidades de trabajo, a=revoluciones del cigüeñal, D=cilindrada, N=velocidad del motor, bp=potencia al freno.

- Torque:

$$T = \frac{60 * 1000 * bp}{2 * \pi * N} [Nm]_{(3)}$$

Además de obtiene la fórmula de consumo específico mediante un análisis dimensional para unidades de $\frac{gr}{Kw * h}$:

- Consumo específico (Ce):

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} [\frac{gr}{hr}]_{(4)}$$

$$C_e = \frac{\dot{m}}{\dot{w}} \left[\frac{\text{gr}}{\text{Kw} * \text{h}} \right]^{(5)}$$

donde ρ = densidad en $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, \dot{v} = flujo volumetrico en $\frac{\text{cm}^3}{\text{hr}}$, \dot{m} = flujo masico en $\frac{\text{gr}}{\text{Kw} * \text{h}}$, \dot{w} = potencia en Kw.

Para el cálculo de errores experimentales se utilizará la siguiente formula:

$$\text{Error} = \frac{\text{valor experimental} - \text{valor teorico}}{\text{valor teorico}} * 100$$

6 Resultados.

6.1 Motor Diesel ensayado:

En el anexo 9.1 se encuentra la tabla de valores medidos de plena carga, obtenidos del desarrollo de la experiencia. De esta tabla se obtienen los valores³ de Potencia al freno₍₁₎, Presión media efectiva₍₂₎, Torque₍₃₎, Consumo específico₍₅₎.

6.1.1 Torque vs Potencia al freno

Se realizó un Gráfico1 comparativo entre Torque vs Potencia al freno. En este se aprecia un valor máximo de torque de 172,3[Nm] a 1402 [rpm] y de potencia al freno de 33,4[Kw] a 2098 [rpm]. La máxima eficiencia del motor se logra en un punto de intersección cercano a las 2000[rpm]. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error₍₆₎ para Torque de 1,76% y de Potencia al freno de 0,39%, respecto al ideal, estando dentro de los márgenes.

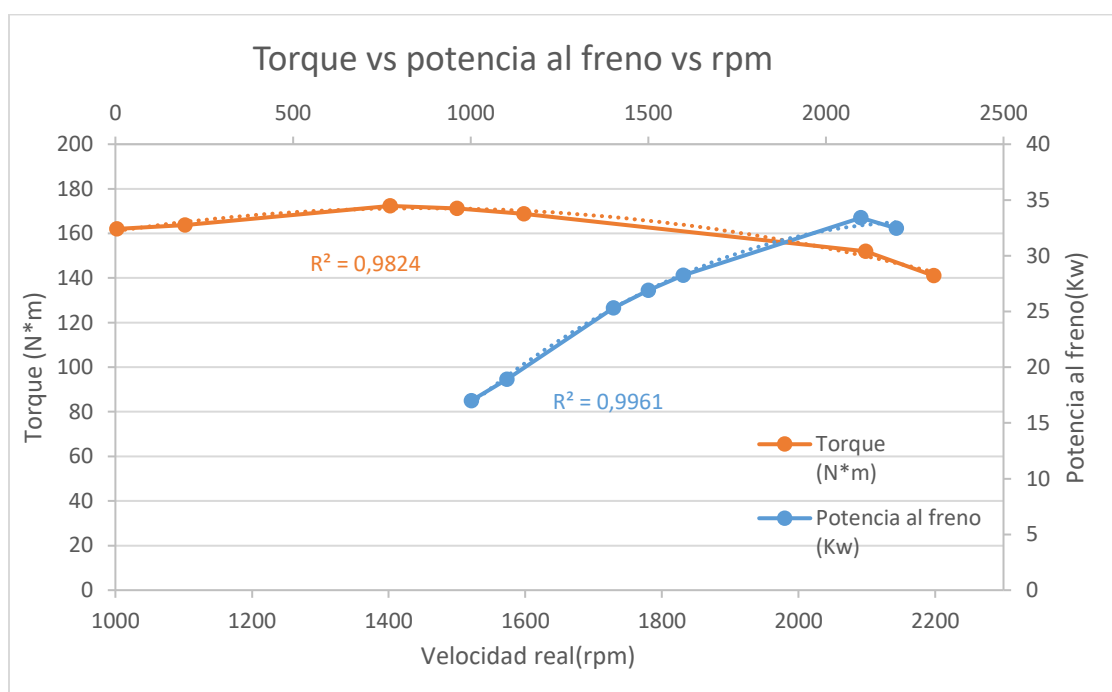


Gráfico1: Representación de curvas de Torque vs Potencia de freno del motor ensayado.

³En el anexo 9.2 se encuentra la tabla con los valores obtenidos para potencia al freno, presión media efectiva, torque y consumo específico.

6.1.2 Consumo específico.

En la Grafica2 se representa el consumo específico vs velocidad del motor. En este se aprecia que el mínimo consumo se logra alrededor de los $222 \left[\frac{\text{gr}}{\text{Kw} \cdot \text{h}} \right]$ a 1570 [rpm] mientras que el máximo redondea cercano a los $233,5 \left[\frac{\text{gr}}{\text{Kw} \cdot \text{h}} \right]$ a 2198 [rpm]. La máxima eficiencia se logra cercano a las 2000 [rpm] con un consumo específico de $227 \left[\frac{\text{gr}}{\text{Kw} \cdot \text{h}} \right]$.

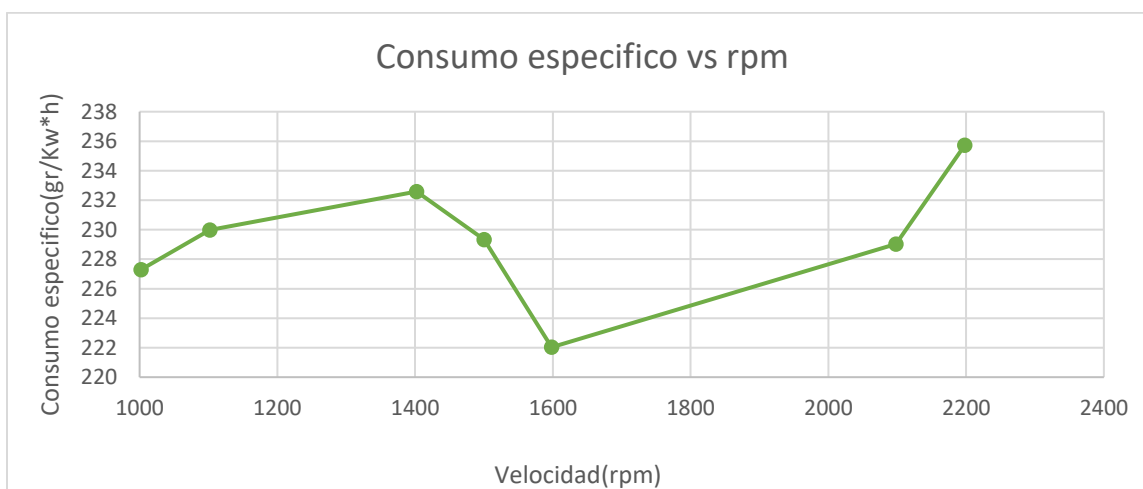


Grafico2: Representación de curva de consumo específico vs velocidad del motor.

6.1.3 Presión media efectiva.

En la Grafica3 se representa la presión media efectiva vs la velocidad del motor. En este se aprecia que la mínima presión media efectiva se logra a 141,7 [Kpa] a 2198,1[rpm] y la máxima a 173,2 [Kpa] a 1402 [rpm].

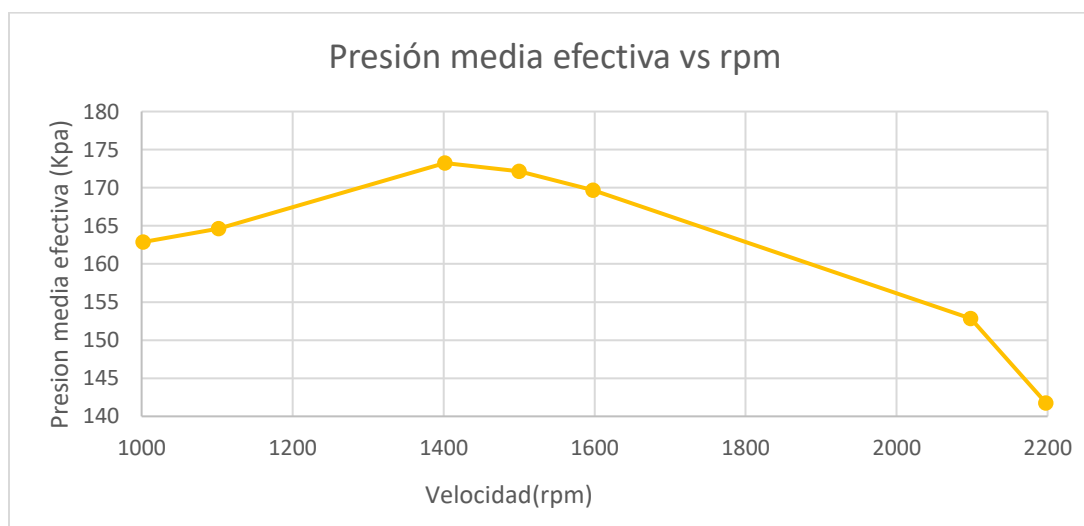


Grafico3: Representación de curva de Presión media efectiva vs velocidad del motor.

6.2 Análisis comparativo con motor F3L912 dado por el fabricante.

En esta sección se analizará y comparan los datos obtenidos en el ensayo con los del motor diésel Deutz modelo F3L912 dado por el fabricante⁴.

6.2.1 Torque

En el Grafico4 se ve representado el Torque obtenido del ensayo realizado vs el Torque de un motor Deutz F3L912 entregado por el fabricante. Se aprecia que los valores de torques obtenido en el motor ensayado son menores a los entregado por el fabricante. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error₍₆₎ experimental para el Torque ensayado de 5,21% respecto al Torque dado por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

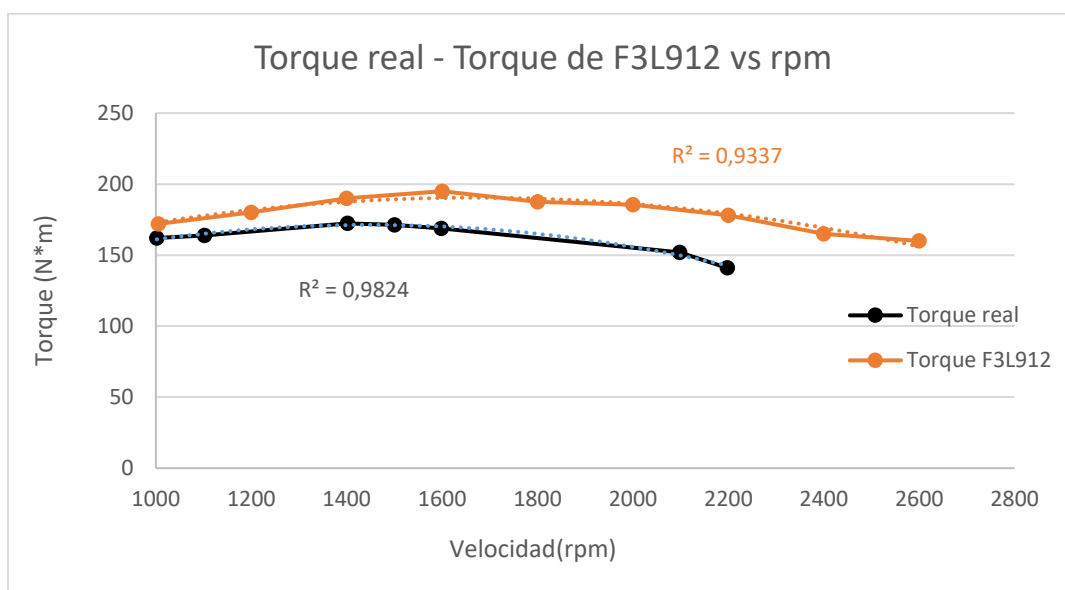


Grafico4: Representación comparativa de curvas de Torque ensayado vs Torque de motor Deutz F3L912.

2.2.2 Potencia al freno(bp)

En el Grafico5 se ve representado la Potencia al freno obtenido del ensayo realizado vs la dada para un motor Deutz F3L912 por el fabricante. Se aprecia que los valores de “bp” obtenido en el motor ensayado son menores en sus extremos (mínimo y máximos respectivos) a los entregado por el fabricante. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error₍₆₎ experimental para el “bp” ensayado de 1,62% respecto al “bp” dado por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

⁴ En el anexo 9.3 se encuentra la tabla con los valores dados para un motor diésel Deutz modelo F3L912.

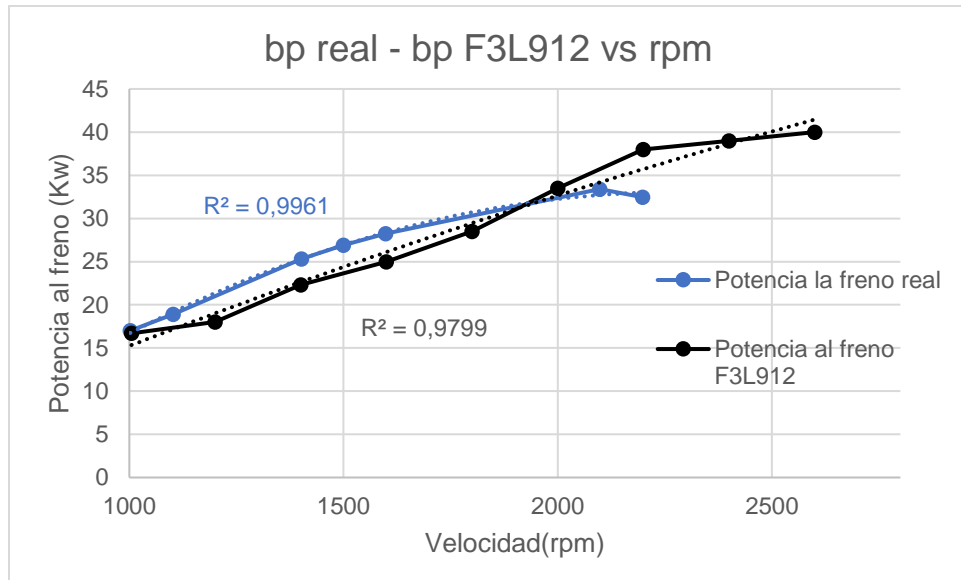


Grafico5: Representación comparativa de curvas de Potencia al freno ensayado vs Potencia al freno de motor Deutz F3L912.

6.2.3 Consumo específico

En el Grafico6 se ve representado la Consumo específico obtenido del ensayo realizado vs la dada para un motor Deutz F3L912 por el fabricante. Se observa un comportamiento más constante del motor F3L912, sin tantas fluctuaciones, en comparación con el motor ensayado.

Otras observaciones:

- Se aprecia que hasta las 1600[rpm] el consumo de combustible se mantiene prácticamente igual para el motor FL3912.
- El máximo valor de consumo específico para el motor ensayado se logra a 2198 [rpm] en comparación con los 2600 [rpm] del motor F3L912, dando una eficiencia menor al motor.

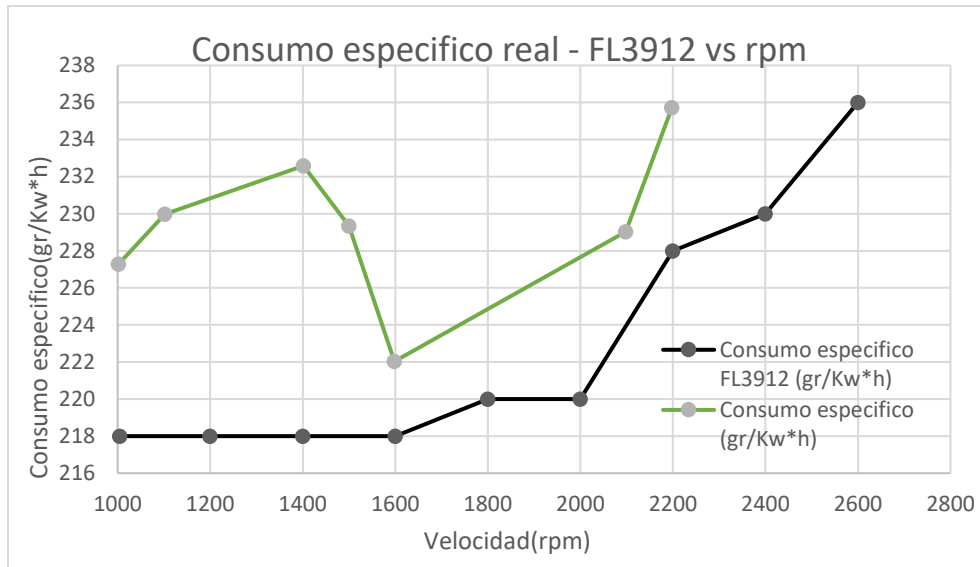


Grafico6: Representación comparativa de curvas de Consumo especifico ensayado vs Consumo especifico de motor Deutz F3L912.

6.3 Análisis comparativo mediante suposición de análisis en CDF.

6.3.1 Temperaturas

En el Grafico7 observa una variación no mayor a 9°C entre la temperatura ambiente y la de admisión. Este rango esta dentro de lo esperado debido al alza de temperatura al ingresar a la cámara de combustión y la densidad del aire que entra. No se aprecia un aumento o decrecimiento significativo con el aumento de la velocidad de rotación del motor(rpm).

La temperatura del aceite sigue un patrón creciente siendo su máximo en 99°C a 2198[rpm]. El patrón esta dentro del rango esperado debido al constante movimiento de sus partículas al proporcionar lubricación a las piezas del motor, como por ejemplo pistón, biela, cigüeñal, etc.

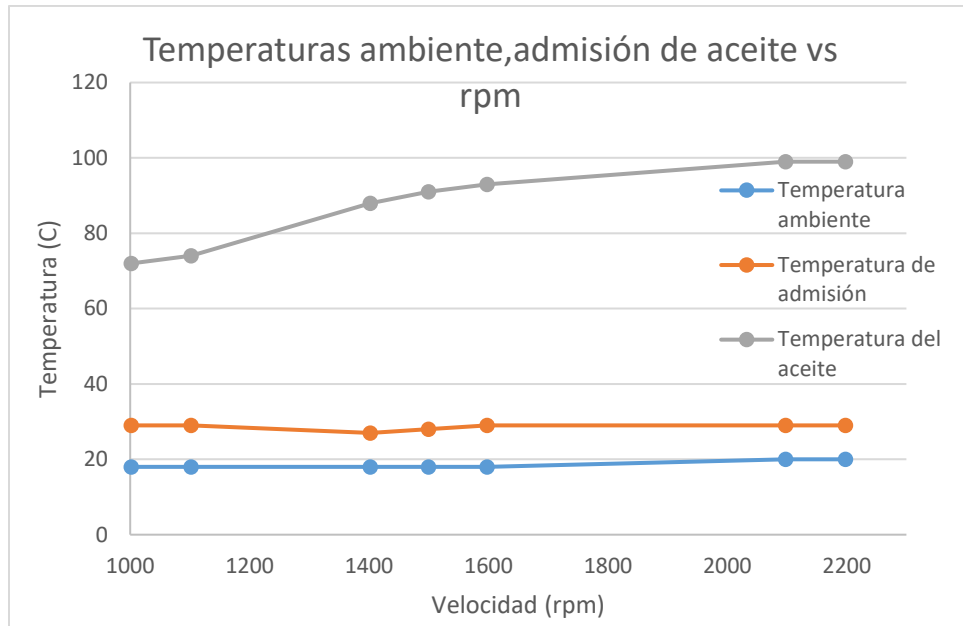


Grafico7: Representación comparativa de curvas de temperaturas del motor ensayado.

En el Grafico8 se representa la temperatura de los gases de escape. La máxima temperatura se alcanza a los 551°C a las 1500[rpm]. Se aprecia una diferencia significativa entre los extremos de la gráfica y el punto de máxima temperatura anteriormente mencionado.

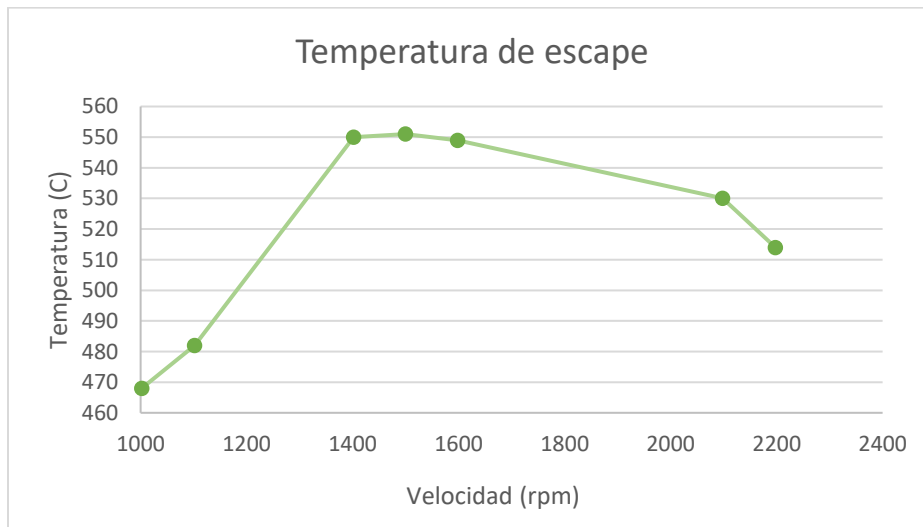


Grafico8: Representación de la temperatura de los gases de escape del motor ensayado.

7 Conclusión.

7.1 Torque:

- El Torque es la fuerza que entrega el motor por cada revolución, esto proporciona gran fuerza a bajas y medias revoluciones.
- La máxima fuerza que puede producir el motor ensayado es de 172,3[Nm] a 1402 [rpm].
- El máximo Torque y Potencia al freno no están presentes a las mismas revoluciones.
- El Torque es el producto de la fuerza del pistón y la longitud del muñón del cigüeñal, por lo que se ve afectado por cualquier variación de estos elementos.
- La máxima eficiencia entre Torque y Potencia del motor ensayado se logra cercano a las 2000 [rpm].
- Los valores de Torques logrados por el motor Deutz F3L912 son mayores comparados al motor ensayado. Se puede inferir que el motor ensayado entrega menos fuerza que el motor F3L912 en el mismo rango de revoluciones.
- Los errores obtenidos pueden deberse a diversos factores como, por ejemplo; errores en el factor de corrección al pasar del sistema ingles al sistema internacional, aproximación de cifras significativas, incorrecto uso de banco o freno dinamométrico, etc.

7.2 Potencia:

- La Potencia de freno nos permite observar que tan rápido trabaja el motor, esto proporciona un incremento en la velocidad del vehículo a altas revoluciones.
- La máxima potencia de freno que puede producir es de 33,4[Kw] a 2098 [rpm].
- A velocidades del motor inferiores a 1800[rpm] se aprecia una Potencia al freno mayor en el motor ensayado. Se puede inferir que el motor ensayado alcanza velocidades más altas que el motor F3L912 en el mismo rango de revoluciones.
- El máximo Torque y Potencia al freno no están presentes a las mismas revoluciones.
- La Potencia de freno se obtiene a partir del Torque las revoluciones.
- La máxima eficiencia entre Torque y Potencia se logra cercano a las 2000 [rpm].

7.3 Consumo específico:

- El consumo específico del motor ensayado presenta un rendimiento pobre en comparación a la Potencia entregada vs el rendimiento del motor Deutz F3L912.
- Los posibles errores en la comparación de los dos motores se deben que para el motor ensayado se posiciono en un banco de pruebas, por lo cual carece de elementos de

transmisión de potencia como embrague, cambio de marchas, diferencial, cojinetes, etc. Además se desconoce el ambiente en que se desarrollo la prueba del motor Deutz F3L912.

7.4 Temperaturas

- La temperatura ambiente y de admisión siguen un comportamiento similar, siendo la diferencia no mayor a 9°C. Esta diferencia se genera al momento de la aspiración del aire dentro de la cámara de combustión em el proceso de admisión.
- La temperatura del aceite presenta valores elevados desde un inicio debido al rol que desempeña como lubricante para los diversos elementos móviles del motor. Esta alza se evidencia al aumentar la velocidad de rotación.
- Se observa un incremento significativo de la temperatura de los gases de escape hasta los 1500 [rpm] alcanzando los 551°C. Esto debido a la puesta en marca del motor y que a menores revoluciones en donde se genera las mayores entregas de fuerza o torque del motor,

8 Referencias.

Consumo específico

- <http://www.comoconsumirmenos.com/2012/08/el-consumo-especifico-del-motor.html>
- <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/consumo-de-combustible-definicion-significado/gmx-niv15-con193674.htm>
- Universidad Agraria de La Habana , Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, La Habana , Cuba, CP: 32700:
 - http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000100001

Torque y Potencia:

- <https://www.monografias.com/docs/Potencia-AI-Freno-P37YZVFJ8U2Y>
- <https://noticias.autocosmos.com.ar/2012/03/07/que-diferencia-hay-entre-torque-y-potencia#:~:text=El%20torque%20es%20la%20fuerza,entrega%20en%20forma%20de%20giro.&text=Un%20motor%20tiene%20torque%20m%C3%A1ximo,presentan%20a%20las%20mismas%20revoluciones>
- <http://juanruedaconinternational.com/content/torque-y-potencia>

Presión media efectiva:

- [https://www.lacomunidadeltaller.es/termino-mecanico/presion-media-efectiva-p-m-e/#:~:text=Es%20la%20media%20de%20todas,los%20gases%20dentro%20del%20cilindro.&text=La%20presi%C3%B3n%20media%20se%20mide,metro%20cuadrado%20\(sistema%20internacional\).](https://www.lacomunidadeltaller.es/termino-mecanico/presion-media-efectiva-p-m-e/#:~:text=Es%20la%20media%20de%20todas,los%20gases%20dentro%20del%20cilindro.&text=La%20presi%C3%B3n%20media%20se%20mide,metro%20cuadrado%20(sistema%20internacional).)
- <http://www.despegamos.es/presion-media-efectiva/>
- <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/presion-media-del-ciclo-definicion-significado/gmx-niv15-con195228.htm>

Texto guía:

- Termodinámica 6th edición, Yunus A. Cengel.

9 Anexo

9.1 Tabla de valores medidos de plena carga

Valores Medidos										
N°	Velocidad Referencia	Velocidad Real	Carga Freno	Vcomb	tcons	Tamb	Tadm	Taceite	Tesc	Δpadm
	[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

Tabla1: Valores obtenidos del ensayo del motor estudiado.

9.2. Tabla de valores calculados

Potencia al freno (Kw)	Presion media efectiva (Kpa)	Torque (N*m)	Consumo especifico (gr/Kw*h)	Velocidad Real [rpm]
16,99860435	162,86088	162,0007131	227,2913872	1002
18,9005122	164,65056	163,7809407	229,9721226	1102
25,30040788	173,241024	172,3260332	232,5897437	1402
26,9011275	172,167216	171,2578967	229,3344336	1500
28,24159782	169,661664	168,765578	222,0303484	1598
33,40161811	152,838672	152,0314384	229,0308204	2098
32,45316228	141,742656	140,9940272	235,724332	2198

Tabla2: la tabla con los valores obtenidos para potencia al freno, presión media efectiva, torque y consumo específico.

9.3 Tabla con los valores dados para un motor diésel Deutz modelo F3L912

Velocidad	Potencia al freno (Kw)	Torque (N*m)	Consumo específico (gr/Kw*h)
1005	16,7	172	218
1200	18	180	218
1400	22,3	190	218
1600	25	195	218
1800	28,5	187,5	220
2000	33,5	185,5	220
2200	38	178	228
2400	39	165	230
2600	40	160	236

Tabla3: Valores obtenidos de los proporcionados por el fabricante.