

Informe N3: Laboratorio de Máquinas: Ensayo a plena carga de un motor de combustión interna

Lucas Villalobos Burgos ¹

¹Escuela de Ingeniería Mecánica

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

crisobal.galleguillos@pucv.cl

2 de octubre de 2020

1. Introducción y Objetivos

Ya hemos podido observar e identificar el funcionamiento de los motores y sus partes, como el cigüeñal, levas, los pistones, bielas, además de como estas piezas son compartidas en varios tipos de motores, por lo que el análisis técnico y de como pueden los motores ser aplicados a diversas tareas, lo que permite rangos de eficiencias, potencias variadas, rangos de torques, nos lleva a un conocimiento previo respecto a los motores de combustión interna y que ahora da paso de la teoría a la práctica, con un ensayo del motor Deutz. Este ensayo será a plena carga para poder analizar comparativamente su funcionamiento, lo que nos permitirá corroborar algunas hipótesis y establecer un paralelo respecto a las características y la mecánica vista de manera teórica frente a la real. Para este fin, se ensayará el motor Deutz 912, el cual será trabajado según la normativa SAE.

El informe técnico del motor Deutz nos ayudará con respecto a las dudas de capacidades y otros datos técnicos importantes para la realización de algunos cálculos, los que nos servirán para establecer ciertas curvas características de los motores de combustión interna, como lo son las de potencia al freno, Torque, Consumo específico de combustible y presión media efectiva, todas con respecto a las RPM, además de que se describe uno de los procedimientos para determinar el funcionamiento a plena carga de un motor a combustión interna, siendo de gran utilidad para poder establecer los datos iniciales del arranque y realizar la matemática correspondiente con estos datos.

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

Objetivos Específicos: 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 y comparar los valores y curvas obtenidas con las proporcionadas por el fabricante del motor.

2. Revisión de la literatura

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.

3. Desarrollo

Obtenga su propio grafico de potencia, torque y consumo específico, construya un gráfico similar y compare con el que se presenta en el ANEXO (¿Puede extraer 4 datos de cada una de esas gráficas y superponerlas a la suya?).

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

3.1. Gráficos de las Temperaturas

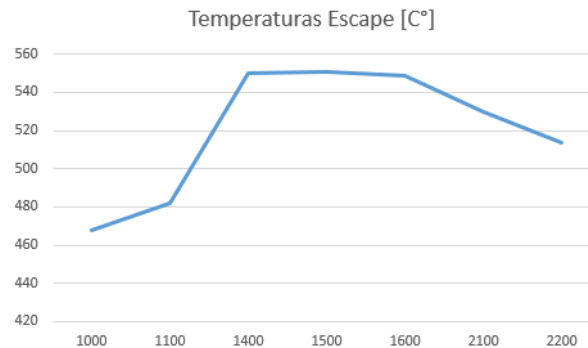


Figura 1: Temperatura de escape

La baja de la temperatura de escape en las mayores revoluciones no se puede explicar mediante el funcionamiento normal de un motor, por lo que pueden haberse presentado ciertos errores al momento de la medición de estas temperaturas.

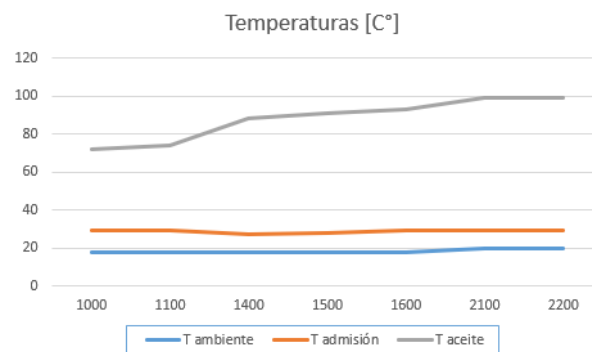


Figura 2: Temperatura ambiente, admisión y del aceite

Las temperaturas de admisión y ambiente son y se mantienen normales, puesto que en el ambiente no debería producirse variaciones significativas debido al funcionamiento del motor, y la temperatura de admisión también se mantiene constante ya que todavía no entra al ciclo de combustión, por lo que no tiene oportunidad de aumentar su temperatura.

Respecto a la temperatura del aceite, su aumento tiene lugar a que al momento de circular por el cárter y los pistones, parte del calor de la camisa del cilindro es disipado al aceite, y a mayores revoluciones se traduce en un aumento del ciclo de combustión y la fricción, por lo que la variación de temperatura es lógica. Es importante destacar que a menores temperaturas el aceite refrigera mejor el motor y se mueve de manera más fluida.

3.2. ¿Qué diferencia hay entre Torque y Potencia?

El torque y la potencia son tipos de energía producida por los motores en el encendido, o sea al girar la llave y acelerar. El aire y el combustible encendidos en las cámaras de combustión hacen que el cigüeñal, la transmisión y los ejes motrices giren. Sobre este hecho es que la conversión de energía es posible: la energía potencial contenida en un galón de residuos fósiles reciclados se transforma de manera eficiente en energía cinética necesaria para encender y mantener en funcionamiento un motor.

Para poder entender de mejor manera la explicación, definamos a la energía como la capacidad de realizar un trabajo. En este caso, los motores realizan el trabajo que antes realizaba la tracción animal, y el trabajo es el resultado de una fuerza que actúa respecto a una distancia.

$$Torque = \frac{bp * 60000}{2 * \pi * N} [Nm] = \frac{bp * 5252}{N} [lb * ft]$$

Figura 3: Fórmula del Torque

Recapitulando, el torque es la fuerza giratoria producida por el cigüeñal de un motor. Cuanto más torque produce un motor, mayor es su capacidad para realizar el trabajo. La medida es la misma que la del trabajo, pero ligeramente diferente. Dado que la torsión es un vector (que actúa en una determinada dirección), se cuantifica mediante las unidades Libra-Pie y Newton-Metros, siendo esta la ocasión específica que se mencionaba anteriormente.

$$Break Power = \frac{Carga Freno * N}{268} [kW] = \frac{Carga Freno * N}{200} [hp]$$

Figura 4: Fórmula de la Potencia

La potencia es la rapidez con la que se realiza el trabajo. El inventor escocés del siglo XVIII, James Watt, nos dio esta práctica equivalencia: un caballo de fuerza es la potencia necesaria para levantar 33.000 libras exactamente un pie en un minuto. Haciendo honor a esa contribución, la unidad de medida SI para la potencia es el kilowatt.

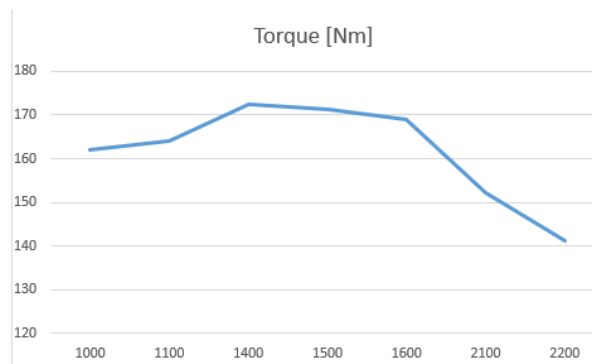


Figura 5: Gráfico de torque

Como se puede observar en el gráfico, a partir de las 1400 RPM se produce el torque óptimo y prontamente alrededor de las 1500 1600 RPM se produce una baja en el torque, la cual se explica por la bajada de torque a partir del aumento de las RPM ya que el motor no tiene el suficiente tiempo para consumir aire debido a las altas velocidades del piston, lo que se traduce en una compresión aire-combustible menor.

Los datos de potencia y torque evidencian los rangos en los cuales se diseñó el motor para funcionar, torque entre los 150 170 Nm y la potencia hasta los 2100 RPM, ya que en ese momento se produce la maxima potencia con 33 [kW]. La disminución de potencia se produce ya que aumentando el RPM, cada vez se vuelve mas complicado alcanzar una óptima concentración del aire y combustible en el cilindro.

T		P	
[lb*ft]	[Nm]	[hp]	[kW]
119,483	162,124	22,812852	17,011567
120,796	163,906	25,365293	18,914925
127,0984	172,457	33,954226	25,319701
126,3106	171,388	36,10246	26,921642
124,4724	168,894	37,901428	28,263134
112,1302	152,147	44,826396	33,42709
103,9896	141,102	43,553527	32,47791

Figura 6: Valores para el Torque y la Potencia a las RPM respectivas

3.3. Presión Media Efectiva. ¿Qué significado tiene?

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 se mide en unidades de presión.

$$Presion\ Media\ Efectiva = \frac{P * 10^9}{\phi * (\frac{N}{120})} [Pa]$$

Figura 7: Fórmula de la PME

Como se puede ver en la formula, depende de la potencia, el volumen o cilindrada total (ϕ) y las RPM. Los valores de la presión media efectiva del recuadro de abajo nos muestra una tendencia bastante similar a la que sufre el torque y la potencia, las cuales están todas relacionadas como se puede ver por la fórmula.

bmep	
[psi]	[kPa]
104,4158	720,66269
105,5632	728,58206
111,0709	766,59504
110,3824	761,84342
108,776	750,7563
97,99022	676,31422
90,87617	627,21412

Figura 8: Valores de la presión media efectiva

La presión media está en función del llenado del cilindro y del aprovechamiento del combustible que se introduce al motor. La fuerza obtenida en cada cilindro se obtiene multiplicando la presión media por la superficie de la cabeza del pistón, y junto con la palanca de las muñequillas del cigüeñal determinan el par motor. Sumado al hecho de que a mayor velocidad hay menor tiempo de reposición del aire, es que ocurre una disminución de la fuerza y una disminución de la presión media, ya que despues de las 1400 1600 RPM se disminuye el llenado del cilindro, la velocidad aumenta cada vez mas y el llenado del cilindro desciende a la vez, coincidiendo geométricamente con los valores de torque, lo que se puede observar en el siguiente gráfico.

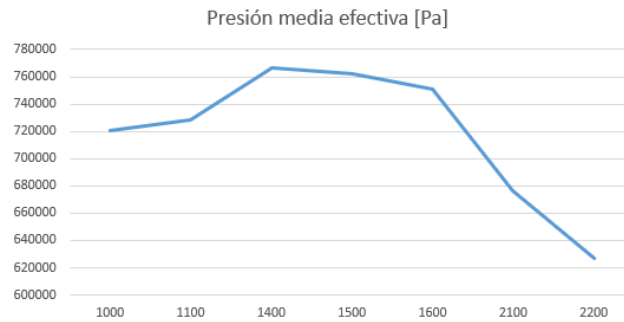


Figura 9: Gráfico de la presión media efectiva

3.4. Eficiencia

La eficiencia es necesaria para diferenciar y comparar ciertos parámetros y de como se comporta el motor en términos generales, ya que engloba y relaciona la potencia, la cual depende de la carga de freno y las RPM (torque), el poder calorífico y el flujo másico.

$$Eficiencia = \frac{P * 100}{PCI * \dot{m}}$$

Figura 10: Fórmula de la Eficiencia

El rango en el cual se mueve la eficiencia global es entre 34 y 36 por ciento, algo aceptable dentro de los motores con un peak óptimo que se alcanza en el torque máximo.

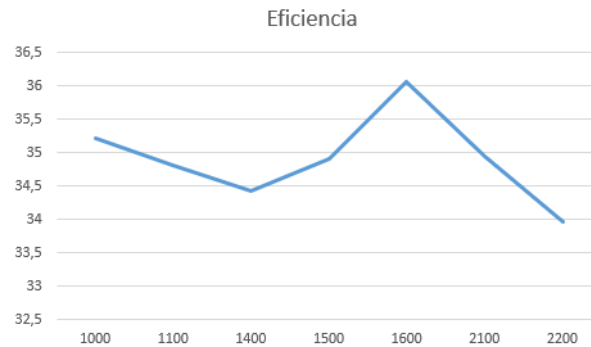


Figura 11: Gráfico de eficiencia total

4. Análisis CDF

Estableciendo comparaciones entre los gráficos obtenidos de los datos y los anexos de la máquina Deutz, se van a establecer las diferencias de rendimiento entre el ensayo real y el óptimo o de catálogo.

Por consiguiente, y mediante una regresión polinómica de los datos obtenidos por fórmulas, se pueden observar curvas realmente similares a las del manual, pero con las diferencias que vamos a ver mas abajo.

Antes que todo, los valores presentan diferencias que se pueden explicar debido a que los ensayos nunca suelen presentar los valores esperados, esto debido al uso reiterado, los desgastes típicos que ocurren a través del tiempo, algún error en el procedimiento del ensayo o condiciones diversas.

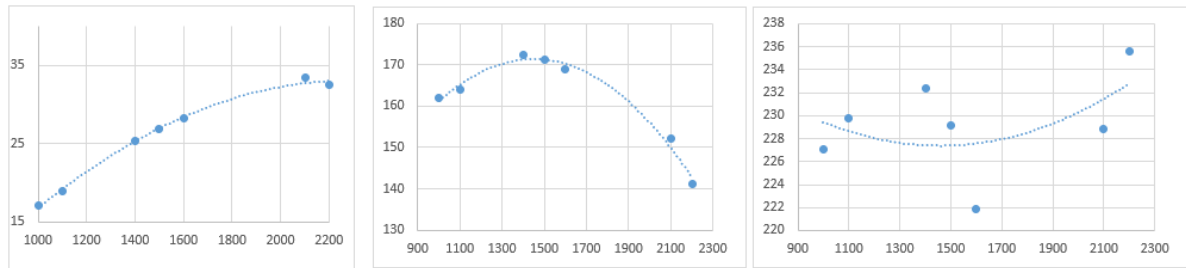


Figura 12: Graficos de la potencia, torque y consumo específico

Para explicar de mejor manera cada comparación se decidió establecer una dispersión lineal de los gráficos, así se pueden establecer de mejor manera las comparativas dato por dato, punto a punto.

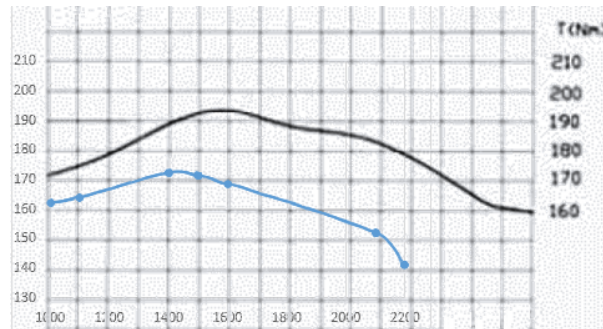


Figura 13: Comparación del Torque [Nm]

Para el torque, los valores difieren en un rango de 20 [hp] aproximadamente, un torque perdido debido a la cámara de combustión que cada vez pierde fuerza debido a rozamientos, y una disminución del rango de revoluciones al que se se sometido.

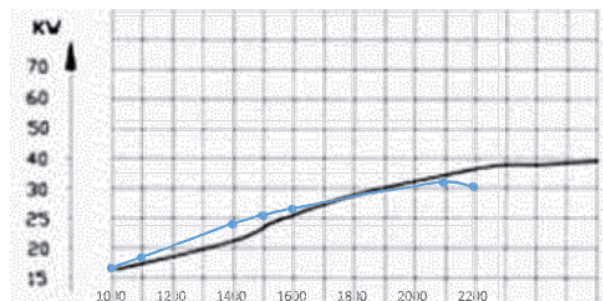


Figura 14: Comparación de la Potencia [kW]

La potencia es ligeramente mayor en las revoluciones inferiores, producto del consumo extra de diésel, el cual decrece lentamente según se aumenta la velocidad y el consumo se normaliza, aunque el

máximo de potencia se alcanza alrededor de las 2100 RPM, algo por lo que no se caracteriza la curva del manual Deutz, además de que sigue funcionando mas allá de las 2600 RPM.

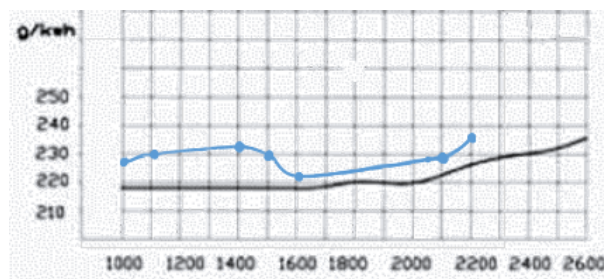


Figura 15: Comparación del Consumo Específico [gr/kWh]

El gráfico de consumo presenta un aumento irregular en las RPM bajas del motor, lo que no debiera puesto que los minimos consumos se encuentran cercanos al par motor máximo, por lo que esto se debe a un funcionamiento indebido del motor. Entre las causas que podrian afectar a este consumo están

Tanto la potencia como el torque están definidos por la carga al freno, parámetro medido por el dinamómetro y que caracteriza ambas curvas, es por esto que estas puede diferir en cuanto a los valores o curvas de referencia del anexo del motor Deutz, y que nos otorgarían valores para un torque disminuido y una potencia que no se corresponderían al catálogo, sumado a un consumo irregular y que produce variaciones en la potencia, puesto a que el aumento del consumo se traduce en concentraciones mayores (Mezcla rica en combustible) lo que genera un aumento de esta potencia, pero en desmedro del gráfico, el cual se ve limitado por los nuevos y menores rangos de operación o RPM al que se ve sometido.

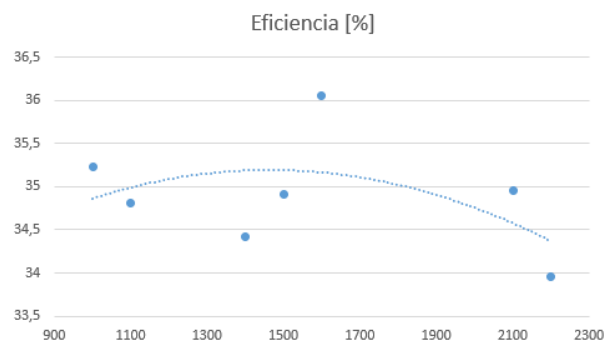


Figura 16: Gráfico CDF de la eficiencia

Se puede observar como el renddimiento global del motor (definido por la potencia, el PCI y el flujo másico) intervienen para otorgarnos la visión global del motor y de su rendimiento en el ensayo, proporcionando una curva con una aproximacion al 35 %, algo bastante aceptable para un motor diesel.

5. Conclusión

Observando las características del motor Deutz se ha revisado ciertos conceptos respecto a su funcionamiento y más aún después de revisar y establecer comparaciones respecto a sus curvas características. Demostrar y definir las variables y parámetros que afectan a su uso nos han entregado herramientas que son suficientes para poder responder a los objetivos planteados al inicio del trabajo, que han permitido ver avanzar en el análisis de los datos obtenidos del ensayo, entender bajo que regimenes funcionan realmente estos motores y como un mal manejo se plasma como variaciones en la toma del ensayo, lo que puede traducirse en una mala estimación de una curva y una mala formulación de los límites del motor.

Es interesante ver como el funcionamiento máximo se obtiene a plena carga, aunque parezca evidente, pero resalta el hecho de que los motores no deben ser ocupados de esa manera todo el tiempo, debido a los problemas que acarrea el forzar un motor a un rendimiento de esta naturaleza.

Además de las comparativas que se establecieron con respecto a varios de sus parámetros como temperaturas, potencia, torque, consumo, el hecho de observar además el rendimiento general nos da un panorama global de como enfrenta el motor todas las relaciones de estos parámetros, logrando así tener un status global de las implicaciones que llega a tener estos en el rendimiento del motor, de como cada variable es un resultado mas de una larga cadena del proceso de combustión y transformación de energía.

Como punto final, el motor Deutz nos corrobora que la plena carga a la que se ve sometido responde al anexo y sus curvas características, quizás no completamente debido a los factores explicados en el desarrollo del informe pero que si se condicen con un funcionamiento que corresponde a uno, entregando similitudes de curvas aunque a rangos de RPM dispares.

Referencias

- [1] Mahtem Mengstu, Tesfit Asrat Medhn, Joe Joe L Bovas. 10.20546/ijemas.2019.805.079 Assessment of the Traction Characteristics of a Tractor Running with Diesel-Biogas Fuel, 2019.
- [2] B. D. Gray. CHARACTERISTIC CURVES OF INTERNAL COMBUSTION MOTORS, 1910.
- [3] Marcelo Farias, José Fernando Schlosser. 10.1590/0103-8478cr20161117 Air and fuel supercharge in the performance of a Diesel cycle engine, 2017.
- [4] LeasePlan: Revista Mecánica,
<https://www.leaseplango.es/blog/mecanica/principales-causas-de-la-perdida-de-potencia-del-motor>
- [5] Sabelotodo: Wiki Web,
<http://www.sabelotodo.org/automovil/curvasmotor.html>