

PUCV ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

LABORATORIO DE MAQUINAS

ENSAYO A PLENA CARGA DE UN MCI

Nombre: Javier Antonio Sanhueza Sandoval.

Asignatura: ICM 557-1.

Dirigido a Cristóbal Galleguillos Ketterer y Tomás Herrera Muñoz.

Fecha: viernes 11 de Septiembre 2020.

Resumen:

Contenido

Resumen:.....	1
1 Introducción.	2
Objetivo general.....	2
1.1.1 Objetivos específicos.....	2
2 Ensayo de un motor diésel a plena carga.....	2
2.1 Procedimiento de ensayo.....	2
2.2 Instalación.	3
2.4 Principales parámetros.	3
2.4.1 Datos previos.....	4
2.4.2 Fórmulas y ecuaciones empíricas.....	4
2.5 Procedimiento de adquisición de datos sugerido.	4
2.5.1 Tabla de valores medidos.....	5
3 Análisis de datos:.....	6
4 Conclusiones:	11
5 Anexo:	12
Referencias:.....	14

1 Introducción.

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

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 cm³ y a 250 cm³
- Filtros

4 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.³</i>	<i>cm³</i>
<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 ¹	200	268
<i>L</i>	Escala de lectura del dinamómetro ²	<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 cm³).
- Gravedad específica del combustible Diésel.
- Número de tiempos del motor.
- Número de vueltas por ciclo del cigüeñal.
- La constante del dinamómetro.

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

2 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: $bp = N \cdot L \cdot K$

Ecuación 2.1

Presión media efectiva: $b MEP = E \cdot a \cdot D \cdot N \cdot bp$

Ecuación 2.2

Torque: $T = bp \cdot 5.252 \cdot N$ (sistema inglés)

Ecuación 2.3

$T = 60 \cdot 1.000 \cdot bp \cdot 2 \cdot \pi \cdot N$ (Nm)

Ecuación 2.4

Desarrolle usted una formula dimensionalmente coherente para sacar el consumo específico en las siguientes unidades *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 + – 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 ± 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.

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.

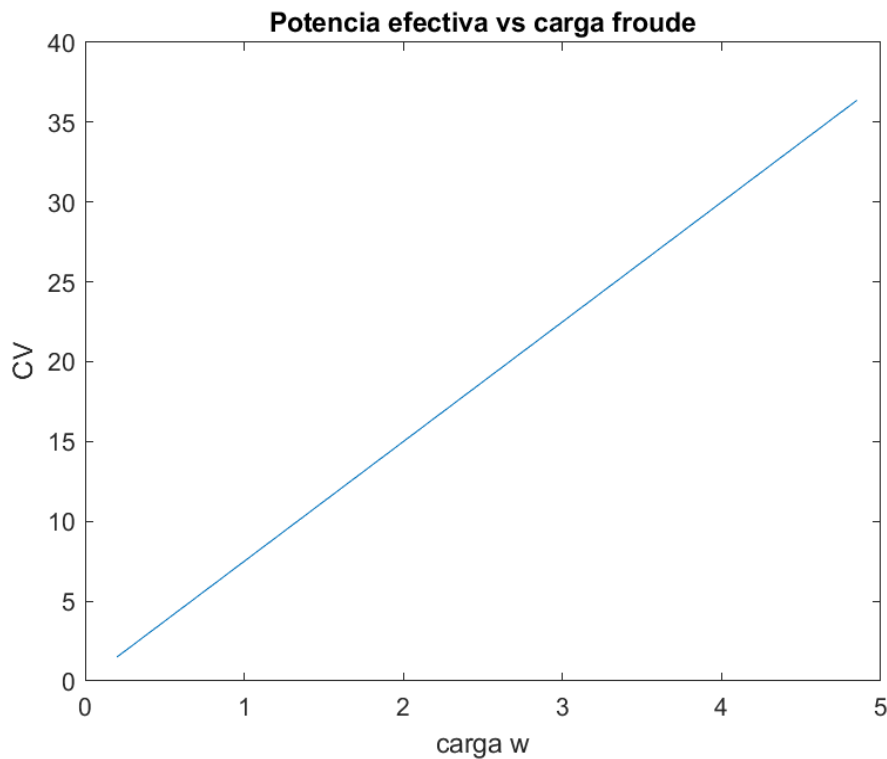
N°	v rot	Carga	V aire	t aire	V comb	t comb	%O ₂	%CO ₂	ppm CO	T° adm	T° esc	T° aceite	T° amb	Opacidad
[-]	[r.p.m]	[-]	[m ³]	[s]	[m ³]	[s]	[%]	[%]	[ppm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[-]
1	1501	0,2	5	155	125	295	17,5	2,58	392	19	122	52	17	0,03
2	1501	1	5	157	125	200	15,1	3,62	405	20,5	173	61	17	0,04
3	1503	1,95	5	159	125	135	13,9	5,24	481	22	249	68	19	0,07
4	1500	3,1	5	162	125	96	11,2	7,23	538	22	347	73	19	0,1
5	1501	4,1	5	167	125	75	8,5	9,23	626	28	460	81	20	0,55
6	1500	4,85	5	170	125	60	5,6	11,37	996	30	568	90	20	2,52

3 Análisis de datos:

Se construyen los gráficos que relacionan el desempeño del motor a distintos regímenes de trabajo y se analizan la información que nos entrega en cada caso.

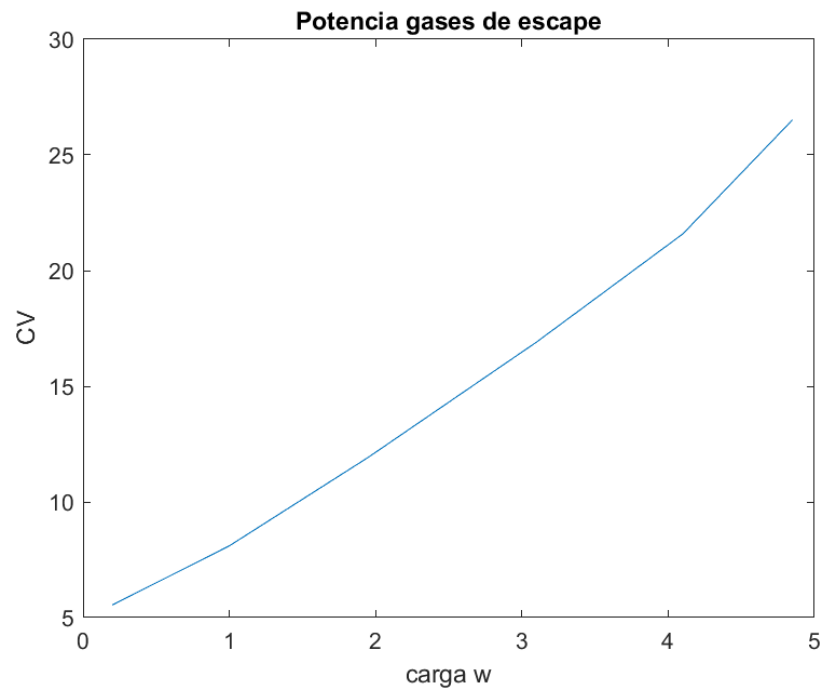
Utilizando distintos datos obtenidos del motor se construyen las curvas de potencia de los siguientes apartados:

- Potencia efectiva
- Potencia en gases de escape
- Potencia en formación de CO
- Potencia que agrupa refrigeración – radiación y calor latente

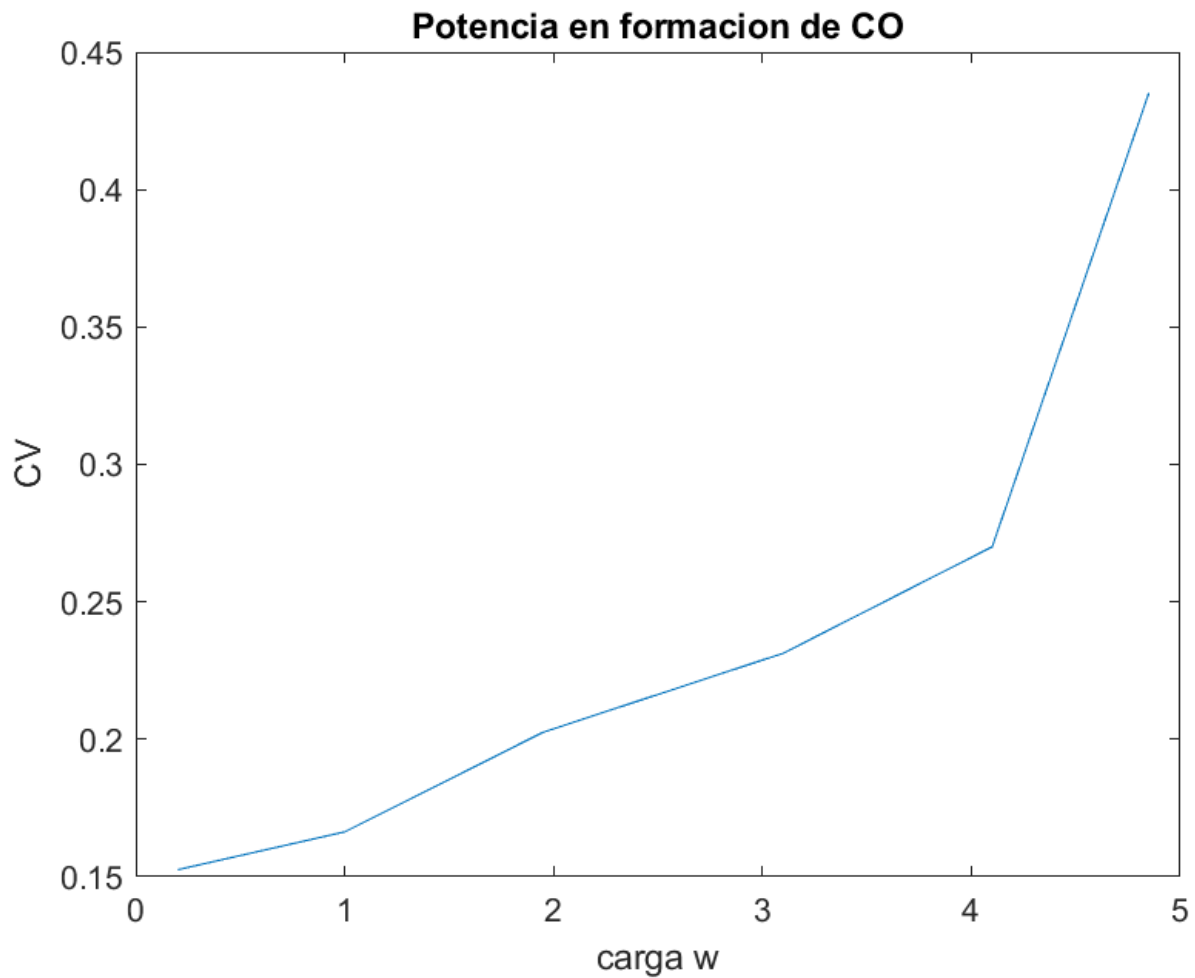


Relación lineal entre la potencia marcada en el freno respecto al caballaje entregado por el motor.

Se explica por el régimen de operación constante a 1500 rpm.



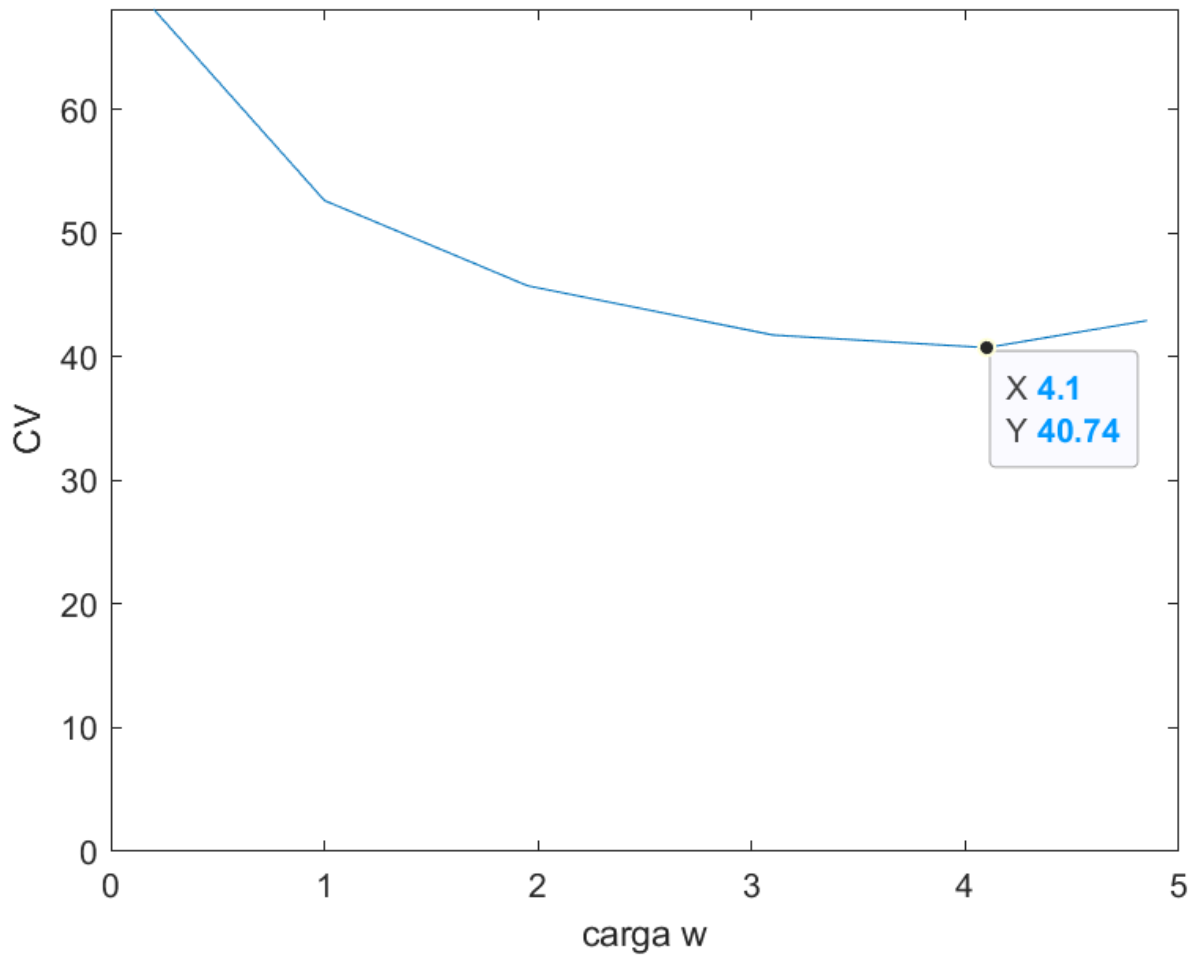
Existe una relación casi lineal entre la carga a la que es sometido el motor por medio del freno respecto con las pérdidas de los gases de escape, es natural que el motor genere mayor calor en los gases de escape al trabajar con mayores cargas debido a la mayor admisión de combustible a los cilindros. Dada la magnitud de los valores este corresponde a un parámetro relevante en la operación de un motor.



La formación de CO es debida a una combustión incompleta de la mezcla, al aumentar el combustible a quemar se incrementa la riqueza de la mezcla, quedando más partículas de carbono que no combustionan completamente.

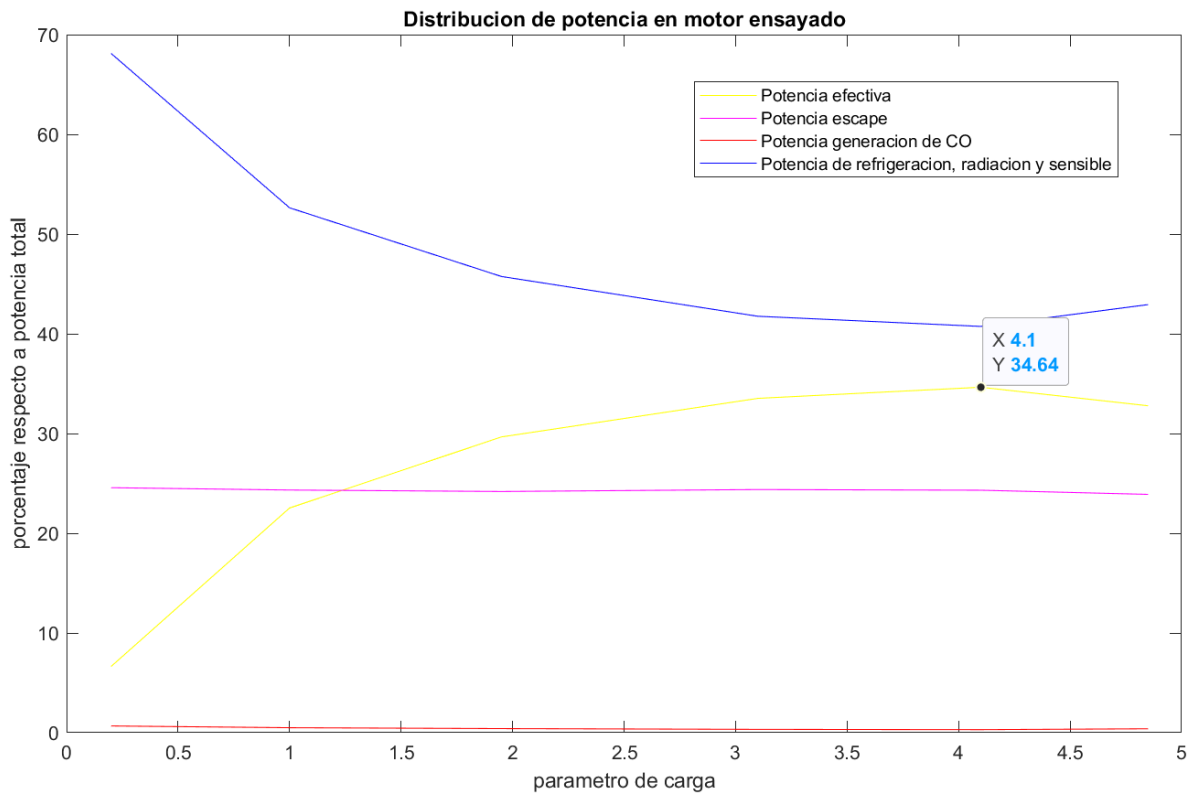
Si bien la magnitud de este parámetro es ínfima respecto a las otras potencias representa un parámetro medioambiental crítico del desempeño del motor, la formación de CO es no deseada y nociva para la salud.

Potencia combinada: Radiación – refrigeración – Calor latente



Este parámetro agrupa las 3 pérdidas que combinadas determinan el comportamiento general del sistema, la potencia combinada presenta la mayor magnitud de todas las potencias y el punto óptimo de operación esta fuertemente influenciado por el punto mínimo de la curva de Potencia combinada.

En este caso las pérdidas combinadas son mínimos trabajando con una carga de $w = 4.1$ o 30.75 CV.



El grafico presenta la distribución de la potencia dentro del motor en porcentajes respectivos al poder calorífico del diésel, siendo el punto de carga $w = 4.1$ el mínimo de la curva de Potencia combinada y al mismo tiempo el máximo respecto a la curva de potencia efectiva.

El punto de operación optimo esta dado por el peak de performance del motor que es cuando mejor se aprovecha el combustible.

La potencia en gases de escape relativa al poder disponible del combustible es casi constante y cercana al 25% de la potencia total.

El comportamiento de la curva de energía de generación de CO porcentual decrece con respecto a la carga, al trabajar en un régimen mas severo se produce una combustión mas completa del carbono, sin embargo al quemar mas combustible la magnitud de este parámetro aumenta exponencialmente.

4 Conclusiones:

Caracterizar la operación de un motor dado un ensayo de esta naturaleza nos permite determinar a de manera empírica el punto de operación optimo de una unidad de potencia, en este caso particular a una carga de ensayo $w=4.1$ se ubica el punto de operación óptimo.

Las ventajas de operar en el punto óptimo principalmente dos, un mejor aprovechamiento de la energía del combustible y una combustión más completa del combustible. Ambos parámetros son fundamentales en la operación de una maquina térmica en especial en el contexto de energías renovables y optimización de recursos, trabajar en el optimo reduce costos y contamina menos que operar en otro régimen.

5 Anexo:

Se adjunta el código Matlab empleado en la obtención de gráficos y todos los parámetros evaluados en este informe:

```
1 -   clc, clear all, close all
2
3 -   rpm=1500;
4 -   vaire=5; %metros cubicos
5 -   vcomb=125; %cm cubicos
6 -   cpge=0.24; %Kcal/Kg*°C
7 -   densidadcomb= 850; %kg/m^3
8
9 -   w=([0.2; 1; 1.95; 3.1; 4.1; 4.85]);
10  %froude carga dinamometro ingles
11
12  %T=temperaturas °C
13 -   Tadm=([19; 20.5; 22; 22; 28;30]);
14 -   Tesc=([122; 173; 249;347;460;568]);
15  %t=tiempo s
16 -   tair=([155; 157; 159; 162; 167; 170]);
17 -   tcomb=([295; 200; 135; 96; 75 ; 60]);
18
19  % gases de escape
20 -   o2=([17.5;15.1;13.9;11.2;8.5;5.6]);
21 -   co2=([2.58;3.62;5.24;7.23;9.23;11.37]);
22 -   co=([392;405;481;538;626;996])/10000;
23
24 -   i=1;
25 -   for it=1:length(w)
26 -       potefect(i)=w(i)*rpm/200;
27 -       i=i+1;
28 -   end
29   %potefect en cv
30
31 -   i=1;
32 -   for it=1:length(w)
33 -       densidadair(i)=101325/(286.9*(273+Tadm(i)));
34 -       i=i+1;
35 -   end
36   %densidadair en kg/m^3
37
38 -   i=1;
39 -   for it=1:length(w)
40 -       masaaair(i)=densidadair(i)*vaire*3600/tair(i);
41 -       i=i+1;
42 -   end
43   %masaaair en kg/hora
44
45 -   i=1;
46 -   for it=1:length(w)
47 -       masacomb(i)=densidadcomb*vcomb*10^-6/tcomb(i)*3600;
48 -       i=i+1;
49 -   end
50   %masacomb en kg/hora
51
52 -   i=1;
53 -   for it=1:length(w)
54 -       potesc(i)=(masaaair(i)+masacomb(i))*cpge*(Tesc(i)-Tadm(i))*(4186.8/3600)/735;
55 -       i=i+1;
56 -   end
57   %potesc en cv
58
59 -   i=1;
60 -   for it=1:length(w)
```

```

    potescCO(i)=5685*0.8738*masacomb(i)*co(i)/(co(i)+co2(i))*(4186.8/3600)/735;
    i=i+1;
end
%potescCO en cv

i=1;
for it=1:length(w)
    potcomb(i)=masacomb(i)*11000*(4186.8/3600)/735;
    i=i+1;
end
%potcomb en cv

i=1;
for it=1:length(w)
    potradref(i)=potcomb(i)-potesc(i)-potescCO(i)-potefect(i);
    i=i+1;
end
%potradref en cv

i=1;
for it=1:length(w)
    potefecrel(i)=100/potcomb(i)*potefect(i);
    potescscrel(i)=100/potcomb(i)*potesc(i);
    potescCOcrel(i)=100/potcomb(i)* potescCO(i);
    potradref(i)=100/potcomb(i)*potradref(i);
    i=i+1;
end
%potradref en cv

figure
plot(w,potefecrel,'y ',w,potescscrel,'m ',w,potescCOcrel,'r ',w,potradref,' b')

figure
plot(w,potradref)
ylim ([0 inf])

```

Referencias:

- [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.