



Depto. de Ingeniería Energética

Máquinas y Motores Térmicos II

EMISIONES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO

Memoria de práctica

Álvaro Morales Sánchez – 18240

M4 - MMt2_5(Prácticas)

Contenido

1. Resumen de la práctica.....	3
2. Desarrollo de la práctica.....	3
3. Tabla de datos y parámetros medidos en el desarrollo	3
4. Determinación de la potencia indicada	4
5. Cálculos de emisiones en g/s y g/kWh	7
6. Concentración de emisiones	8
7. Resultados de emisiones en g/s y g/kWh para variación del dosado relativo	8
8. Conclusiones	10

1. Resumen de la práctica

La práctica consiste en un estudio de las emisiones del motor de investigación CFR en sus distintos modos de funcionamientos y cambiando los parámetros de control. Llegando a comprender como afecta cada modificación o parámetro en estas y sus medidas.

El motor empleado se denomina CFR (Cooperative Fuel Research), el cual ha sido modificado y adaptado para investigación y prácticas. De serie ya soporta combustible de manera robusta, pero con la modificación, se logra modificar su relación de compresión. A través de una manivela de accionamiento manual se puede modificar la posición del conjunto culata-cilindros.

2. Desarrollo de la práctica

Tras una breve explicación por parte del profesor del motor de ensayo, sistemas auxiliares y la instrumentación empleada para tomar las medidas, se pasa a realizar tres ensayos diferentes para analizar la influencia de los distintos parámetros del motor en sus emisiones.

Más tarde se explicarán con más detalle los parámetros o resultados de cada uno de los ensayos, pero a continuación se definen brevemente las particularidades de cada uno.

- Relación de compresión constante ($r_c = 5.5$), ángulo de encendido constante ($\alpha_i = -15^\circ$) y λ variable por cambios en el dosado relativo.
- Ángulo de encendido constante ($\alpha_i = -15^\circ$), λ y por tanto dosado relativo constantes y relación de compresión variable.
- Relación de compresión constante ($r_c = 5.5$), λ y por tanto dosado relativo constantes y ángulo de encendido variable.

Teniendo en cuenta en cada caso dichos parámetros se analizarán las emisiones tomando los datos de salida de los siguientes gases: CO, HC, CO₂, O₂ y NO. Donde las concentraciones de CO, CO₂ y O₂ se miden en [%], y las de HC y NO en [ppm].

Debido a problemas en el transcurso de la práctica, para los resultados de los dos últimos ensayos únicamente se recopilan las concentraciones de NO, dictadas por el profesor a partir de prácticas anteriores.

3. Tabla de datos y parámetros medidos en el desarrollo

Para los ensayos mencionados se recopilaron los siguientes resultados.

DISCLAIMER: como se ha mencionado previamente, las dos últimas partes del desarrollo de la práctica tuvieron contratiempos. Por lo que las medidas de NO no fueron proporcionadas por la instrumentación de medida si no por el profesor, basándose en prácticas previas.

rc	α_i [°]	λ	CO [%]	HC [ppm]	CO2 [%]	O2 [%]	NO [ppm]
5,5 / 1	-15	0,97	1,6	142	13,8	0,3	1300
5,5 / 1	-15	0,99	1,1	101	13,9	0,57	1500
5,5 / 1	-15	1,02	0,4	90	14,1	0,9	17400
5,5 / 1	-15	1,07	0,13	68	13,9	1,5	1850
5,5 / 1	-15	1,1	0,06	66	13,3	2,7	1720
5,5 / 1	-15	1,17	0,06	68	12	4,1	1350
5,5 / 1	-15	0,99					1500
6,5 / 1	-15	0,99					1650
7,0 / 1	-15	0,99					1800
5,5 / 1	-15	0,99					1500
5,5 / 1	0	0,99					1380
5,5 / 1	-30	0,99					1630

Se ven diferenciados los parámetros y resultados de cada ensayo por líneas horizontales de mayor grosor.

4. Determinación de la potencia indicada

Para conocer la potencia indicada se conocen los siguientes parámetros:

- Motor de 4 tiempos, trabajando a 600 rpm
- Diámetro del pistón (D): 82,55 mm
- Carrera del pistón (S): 114,3 mm
- Radio del brazo del cigüeñal (R): 57,15
- Relación manivela/biela (λ): 0,225

Primero, con dicha información se halla el área del pistón: $A_p = 0.005352098 \text{ m}^2$. Multiplicando dicho valor por la carrera (S) se obtiene el volumen que desplaza u ocupa el pistón al rotar, $V_d = 0.000611745 \text{ m}^3$.

Para hallar el volumen de la cámara de compresión se emplea la siguiente ecuación:

$$r_c = \frac{V_c + V_d}{V_c}$$

Como en la práctica r_c toma distintos valores: 5.5, 6.5 y 7, hallamos V_c para cada uno de ellos:

- $V_c (r_c = 5.5) = 0.000135943 \text{ m}^3$.
- $V_c (r_c = 6.5) = 0.000111226 \text{ m}^3$.

$$- V_c (r_c = 7) = 0.000101957 \text{ m}^3.$$

Se ve como al aumentar la relación de compresión el volumen de la cámara disminuye.

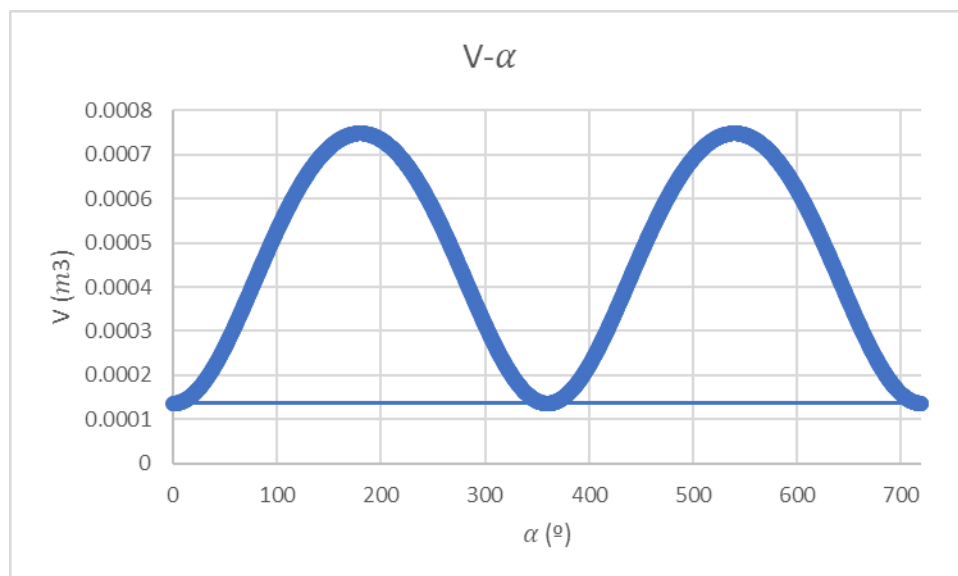
Para hallar el volumen desplazado por el pistón en cada ángulo sumado al de la cámara de combustión se emplea la siguiente ecuación:

$$V(\alpha) = V_c + \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) s(\alpha) = V_c + A_p R \left[1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha \right]$$

Se dispone de todos los datos necesarios para hallar dicho volumen: unos vienen del propio motor, otros como el volumen de la cámara se han calculado y el ángulo variará.

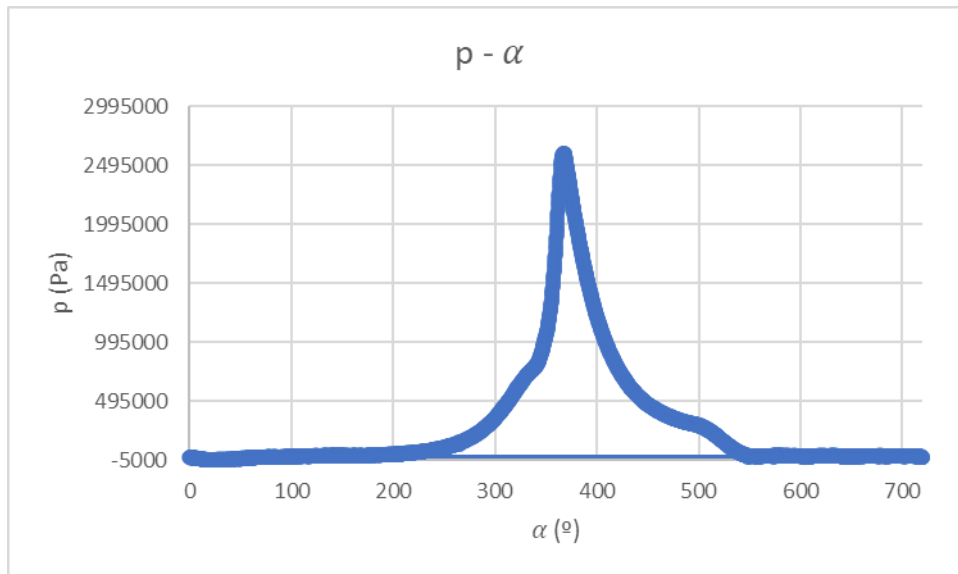
En el Excel proporcionado con las medidas de presiones según el ángulo del cigüeñal se añaden tres columnas para hallar el volumen según el ángulo. Se añaden tres porque V_c varía con la relación de compresión, cambiando V .

Se representa el volumen para relación de compresión 5.5 porque es el que se emplea en la mayoría de los ensayos.



Además, con dicho Excel se añade una columna para disponer de las presiones dadas en Pa.

Se representan dichos valores igual que el volumen, donde se observa como incrementa en la compresión la presión.



Con el volumen en m^3 y la presión en Pa para cada instante o ángulo se pasa a hallar el trabajo indicado en Julios. Para ello se divide en el trabajo de compresión y en el de expansión, siendo el indicado la suma de ambos.

Para hallar cada uno de los trabajos se emplea el sumatorio de la multiplicación de P por la variación de volumen, variando los ángulos según el trabajo correspondiente. Se realizó dicho cálculo para los tres valores de r_c y por tanto de V_c , pero al ser una variación no influye la relación de compresión o el volumen de la cámara.

El trabajo indicado, como se ha mencionado, es la suma del de compresión y el de expansión. Para hallar dichos trabajos se deben tomar los ángulos correspondientes a dichas fases. Como se menciona en la memoria, el ángulo inicial (0°) corresponde con el PMI y comienzo de la compresión. Por lo que se deben tomar los valores correspondientes a $0-180^\circ$. Al realizar el sumatorio entre dichos ángulos en el Excel no resulta un trabajo negativo, y el trabajo de compresión debería serlo. Para ello se corrigen los ángulos partiendo de 180° como PMI previo a la compresión. Todas las gráficas corresponden a valores con el ángulo corregido. Teniendo en cuenta todo lo mencionado hasta el momento, resulta:

$$W_c = \sum_{360^\circ}^{180^\circ} p \Delta V = -171.9289194 \text{ J}$$

$$W_e = \sum_{540^\circ}^{360^\circ} p \Delta V = 427.1274898 \text{ J}$$

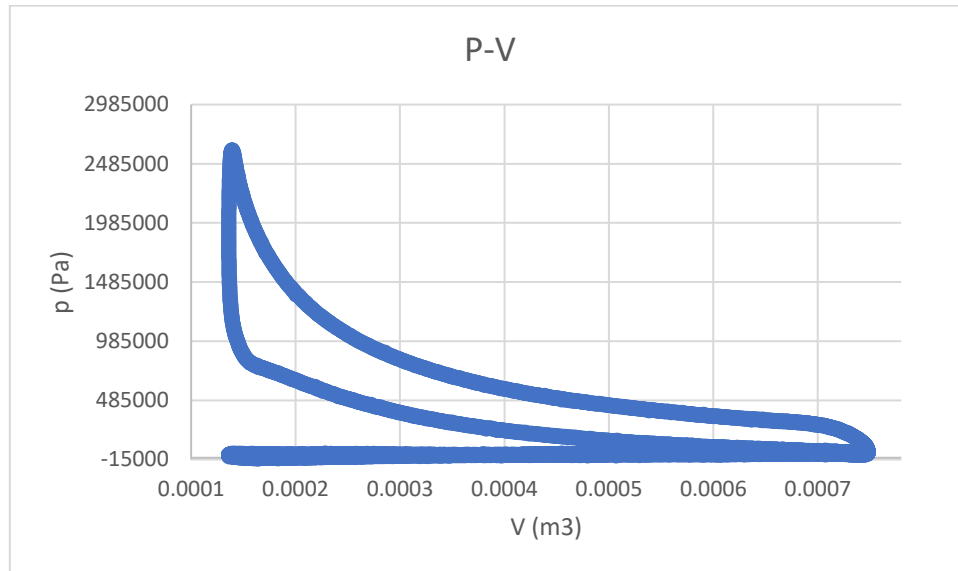
$$W_i = W_c + W_e = 255.1985704 \text{ J}$$

Una vez hallado el trabajo indicado, se halla la presión media indicada y con esta la potencia indicada:

$$p_{mi} = \frac{W_i}{V_d} = 417165.102 \text{ Pa}$$

$$P_i = p_{mi} V_d \frac{n}{2} = 1275.992852 \text{ W}$$

Siendo el diagrama p-V:



A través de dicho diagrama también se podría hallar la potencia indicada, pero es un método más laborioso.

5. Cálculos de emisiones en g/s y g/kWh

Con los datos medidos en la práctica (apartado 3) y los cálculos realizados en el anterior apartado, se calculan las emisiones resultantes.

Como las medidas tomadas en los ensayos son concentraciones en distintas unidades, antes habrá que hallar el gasto másico de aire y de combustible y así hallar las emisiones de cada uno de los gases en g/s.

Para hallar el gasto másico de aire se toma la temperatura ambiente de 25° C y una presión atmosférica de 93000 Pa. Con estos valores y los datos de la memoria se obtiene:

$$\dot{m}_a = V_d \rho_a \frac{n}{120} \eta_v * 1000 = 2.510098993 \text{ g/s}$$

Y para hallar el gasto másico de combustible:

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a F_e F_r = \dot{m}_a F_e \frac{1}{\lambda}$$

Donde varía el dosado relativo y λ dependiendo del ensayo. Con el gasto másico de combustible para cada uno de dichos valores, sumándole el gasto de aire y dividiendo por el peso molecular del aire, se obtiene el caudal de gases de

escape en mol/s. Multiplicando por las concentraciones y PM de cada uno de los gases de escape se obtiene su caudal másico en g/s.

Para hallar las emisiones en g/kWh:

$$\dot{m} \left[\frac{g}{kWh} \right] = \dot{m} \left[\frac{g}{s} \right] \frac{3600}{P_i}$$

Donde la potencia indicada, hallada en el anterior apartado, varía por el cambio del dosado relativo. Dicho cambio es proporcional al caudal másico de combustible.

6. Concentración de emisiones

Según la explicación anterior los resultados son:

CO [g/s]	HC [g/s]	CO2 [g/s]	O2 [g/s]	NO [g/s]
0.04159191	-	0.56371895	0.00891255	0.00362072
0.02855534	-	0.56702745	0.01691069	0.00417205
0.01036348	-	0.57406264	0.02664894	0.04830121
0.00335797	-	0.56421203	0.04428087	0.00511998
0.00154722	-	0.53894837	0.07957132	0.00475218
0.00154165	-	0.48451872	0.12039556	0.00371648
-	-	-	-	0.00417205
-	-	-	-	0.00458925
-	-	-	-	0.00500646
-	-	-	-	0.00417205
-	-	-	-	0.00383828
-	-	-	-	0.00453362

CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO2 [g/kWh]	O2 [g/kWh]	NO [g/kWh]
113.82427	-	1542.72538	24.3909151	9.90880925
79.7584629	-	1583.77519	47.2335832	11.6530222
29.8235922	-	1652.01398	76.689237	138.999242
10.1371129	-	1703.25777	133.676215	15.4563123
4.80174472	-	1672.60774	246.946871	14.7482159
5.08892488	-	1599.37639	397.4208	12.2679439
-	-	-	-	11.6530222
-	-	-	-	12.8183244
-	-	-	-	13.9836266
-	-	-	-	11.6530222
-	-	-	-	10.7207804
-	-	-	-	12.6629508

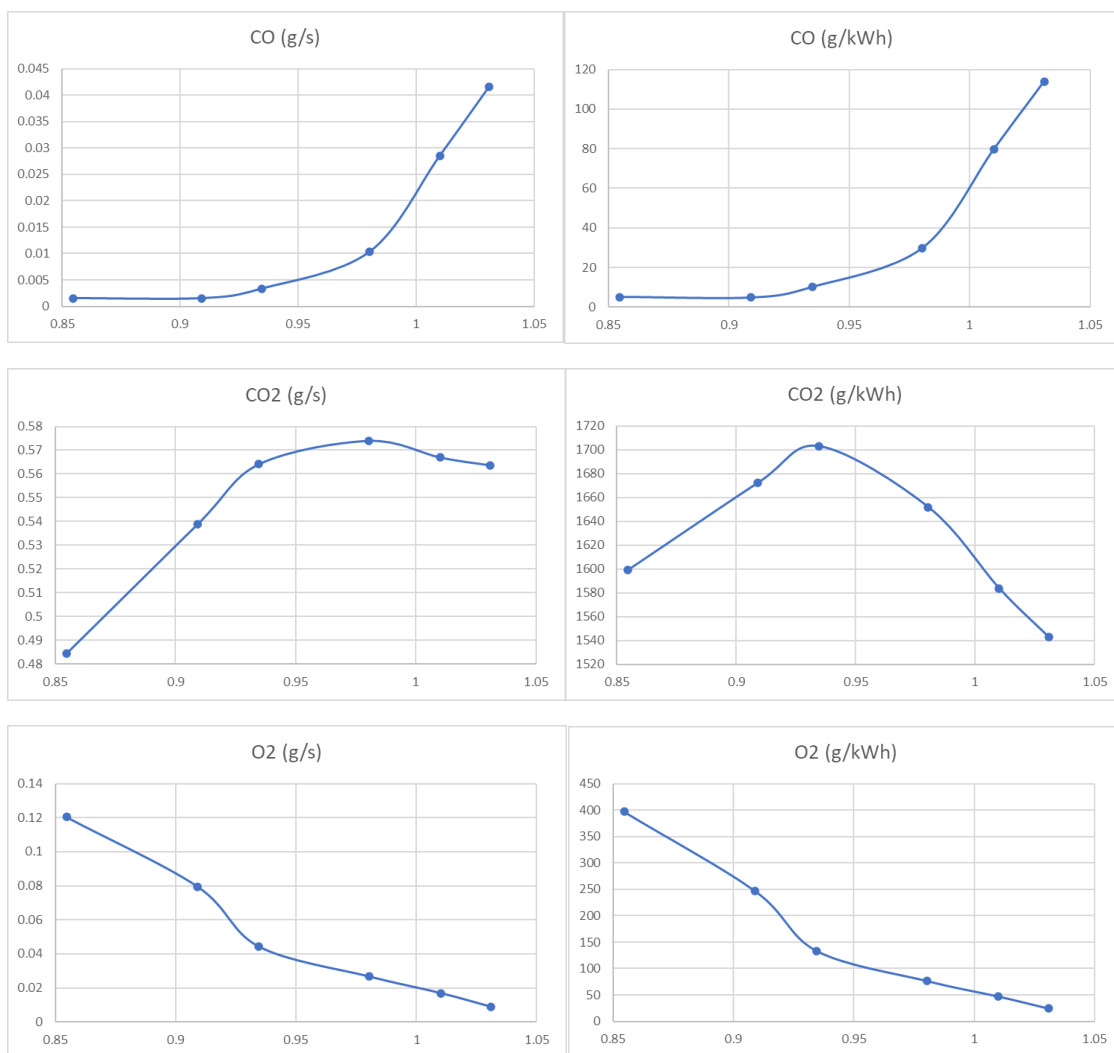
7. Resultados de emisiones en g/s y g/kWh para variación del dosado relativo

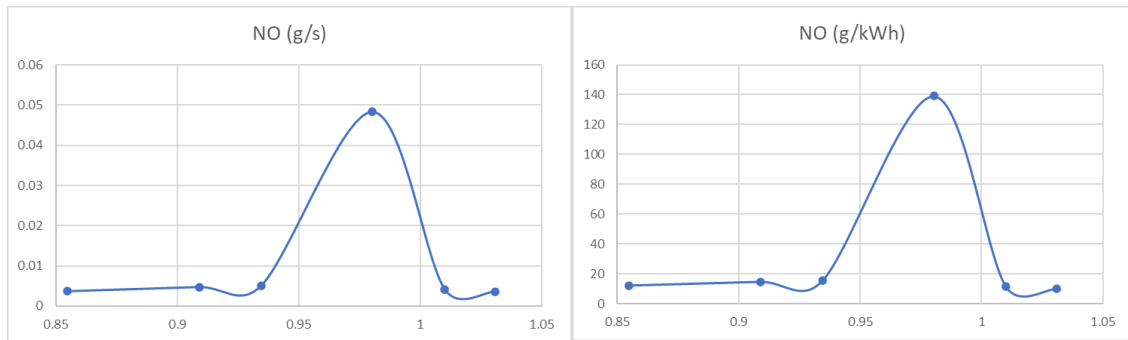
Para el ensayo donde cambia el dosado relativo, se obtiene:

CO [g/s]	HC [g/s]	CO2 [g/s]	O2 [g/s]	NO [g/s]
0.04159191	-	0.56371895	0.00891255	0.00362072
0.02855534	-	0.56702745	0.01691069	0.00417205
0.01036348	-	0.57406264	0.02664894	0.04830121
0.00335797	-	0.56421203	0.04428087	0.00511998
0.00154722	-	0.53894837	0.07957132	0.00475218
0.00154165	-	0.48451872	0.12039556	0.00371648

CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	CO2 [g/kWh]	O2 [g/kWh]	NO [g/kWh]
113.82427	-	1542.72538	24.3909151	9.90880925
79.7584629	-	1583.77519	47.2335832	11.6530222
29.8235922	-	1652.01398	76.689237	138.999242
10.1371129	-	1703.25777	133.676215	15.4563123
4.80174472	-	1672.60774	246.946871	14.7482159
5.08892488	-	1599.37639	397.4208	12.2679439

Obteniendo los siguientes gráficos:





8. Conclusiones

Con esta práctica se aplica la teoría de manera directa y se observa con medidas reales como los diagramas teóricos son similares a los reales.

En cuanto a las emisiones, los valores representados toman valores razonables. Para el caso del ensayo de dosado realtivo, representado en el apartado anterior, se observa la disminución de O_2 en la salida con el incremento de dosado. Puesto que en la reacción se consume más oxígeno, y por ello incrementan otros gases de salida como el CO. En cambio, como se observó en la teoría, el CO_2 es mayor en puntos cercanos a dosado relativo igual a 1. Algo similar sucede con el NO pero para dosado relativo de 0.9. El conjunto CO y CO_2 sí que va incrementando según aumenta el dosado realtivo, como se meniconan en la toería.

En el segundo ensayo, donde varia la relación de compresión, aumentaría la presión media indicada. Esto llevaría a un aumento en la temperatura, superando la temperatura de autoinflamación con mayor facilidad. Debido a esto, se observa un incremento en la concentración de NOx.

Por último, para el tercer ensayo, variando el ángulo de encendido, se comprueba que un retraso de dicho ángulo da un mayor pico de presión en el diagrama P-V, que supone mayor temperatura y se traduce en mayores emisiones de NOx. Lo opuesto sucede al adelantarlo, reduciendo el pico de presión, la temperatura y la concentración de NOx.