

Examen de Motores de Combustión Interna, Diciembre de 2021

Ejercicio 1.

Un motor Diesel de cuatro tiempos con la siguientes características:

$$D \times L = 102 \times 120 \text{ mm} \quad ; \quad r = 18,5 \quad ; \quad Z = 4.$$

Entrega un par de 180 Nm a una velocidad de giro de 1400 rpm, consume 240 g/kWh y registra una concentración de $(O_2) = 9\%$ en base seca (proveniente de una combustión completa) en el múltiple de escape; cuando las condiciones en el múltiple de admisión son $T_i = 23^\circ\text{C}$ y $P_i = 1 \text{ bar}$. Considerando como combustible $C_{10}H_{21}$ con un poder calorífico $Q_p^i = 42,5 \text{ MJ}$ y $r_q = 0,0672$.

Determinar:

- La relación de equivalencia combustible-aire (ϕ) en dicho punto de funcionamiento.
- La relación de presiones (r_p) en el punto de funcionamiento del motor.
- El rendimiento volumétrico respecto a las condiciones del múltiple de admisión.
- La temperatura al final de la carrera de compresión.

Ejercicio 2.

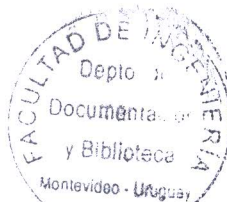
Se tiene un motor de cuatro cilindros de encendido por chispa que gira a ~~4000~~ rpm. El diámetro y la carrera del motor son $D \times L = 73 \times 68 \text{ mm}$, su relación de compresión es 9. Se sabe que las condiciones del múltiple de admisión son $T_i = 30^\circ\text{C}$ y $P_i = 0,98 \text{ bar}$ y bajo estas condiciones el rendimiento volumétrico es $\eta_v = 82\%$.

Si se utiliza iso-octano (C_8H_{18}) como combustible, con un poder calorífico de $Q_p^i = 44 \text{ MJ/kg}$ y una relación de equivalencia de combustible aire de $\phi = 1$, se pide:

- Determinar la relación de equivalencia combustible-aire estequiométrica másica (r_q) y molar (s_q) para el C_8H_{18} .
- Calcular el rendimiento al freno, el consumo específico de combustible (en g/kWh), la potencia al freno (en kW) y el par (en Nm).
- Calcular a cuánto debe bajar la relación de equivalencia, ϕ , si se quiere que la potencia al freno sea un 15% menor que en la calculada en la parte anterior, manteniendo la misma velocidad de giro.

Nota:

Para el cálculo del fmep usar la formula de $fmep = 57 + 15(N/1000) + 5.5(N/1000)^2$ con $N[\text{rpm}]$ y $fmep[\text{kPa}]$.

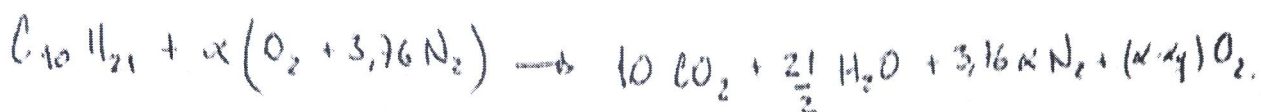


~~Examen~~ ~~Examen~~ ~~Examen~~
EXAMEN DICIEMBRE 2021

①

Ejercicio 1)

a) Combustión completa del $C_{10}H_{21}$.



$$\rightarrow (O_2) = \frac{\alpha - \alpha_f}{10 + 3,76\alpha + (\alpha - 4)}$$

$$\rightarrow \alpha = \frac{10(O_2) + \alpha_f [1 - (O_2)]}{1 + 4,76(O_2)}$$

$$\alpha_f = 10 + \frac{21}{4} = 15,25$$



$$\alpha = \frac{10(0,09) + 15,25(1 - 0,09)}{1 + 4,76(0,09)} = 25,853$$

$$\phi = \frac{\alpha_f}{\alpha} = \frac{15,25}{25,853} = 0,5899$$

b)

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot z = \frac{\pi}{4} (0,102)^2 (0,12) \cdot 4 = 3,922 \times 10^{-3} m^3$$

$$b_{mep} = \frac{4\pi M}{V_d} = 576,70 kPa$$

$$f_{mep} = 75 + 48 \left(\frac{N}{1000} \right) + 0,4 \left(\frac{2 \cdot L \cdot N}{60} \right)^2 = 154,74 kPa$$

$$i_{mep} = b_{mep} + f_{mep} = 731,45 kPa$$

2/7

b) cont.

(2)

$$\gamma_m = \frac{b_{imp}}{i_{imp}} = 0,7884$$

$$\gamma_b = \frac{1}{s/c \cdot Q_p^i} = \frac{(3600)(1000)}{(240)(42500)} = 0,35294$$

$$\gamma_{ti} = \gamma_b / \gamma_m = \frac{0,35294}{0,7884} = 0,44764$$

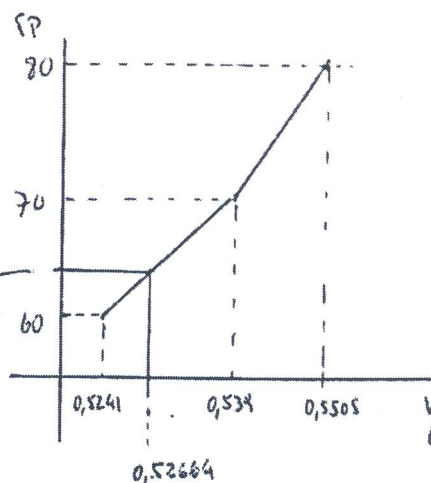
$$\gamma_{AF} = \gamma_{ti} / \gamma_d = \frac{0,44764}{0,85} = 0,52664$$

$$\gamma_{AF}(r, \phi) = \frac{\gamma_{AF}(r, 0,91) \gamma_{AF}(11, \phi)}{\gamma_{AF}(11, 0,91)}$$



$\gamma \backslash r_p$	60	70	80
$\gamma_{AF}(14; 0,5899)$	0,507	0,515	0,52
$\gamma_{AF}(18,5; 0,91)$	0,475	0,494	0,509
$\gamma_{AF}(11; 0,91)$	0,45945	0,47203	0,48080
$\gamma_{AF}(17,5; 0,5899)$	0,5241	0,5390	0,5505

$r_p = 61,7$



3/7

(3)

c)

$$j_i = \frac{P}{RT} = \frac{100.000 \text{ Pa}}{\frac{8314,472 \text{ J}}{29} \cdot (273,15 + 23) \text{ K}} = 1,178 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$i_{\text{mep}} = \sum_i j_i \phi_{r_i} Q_P^i \gamma_{t_i}$$

$$\gamma_v = \frac{i_{\text{mep}}}{\sum_i j_i \phi_{r_i} Q_P^i \gamma_{t_i}} = \frac{731,45 \text{ kPa}}{1,178 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (0,5898)(0,0672) 42500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} 0,44764}$$

$$\gamma_v = 0,8233$$



d)

$$T_2 = T_1 r^{\gamma-1}$$

$$\gamma = 1,4 \rightarrow T_2 = 296,15 (18,5)^{0,4} = 951,44 \text{ K}$$

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 623,79 \rightarrow \left. \begin{array}{l} C_{P2} = 30,361 \\ C_{V2} = 22,289 \end{array} \right\} \gamma = 1,36$$

$$\rightarrow T_2 = 846,62 \text{ K} \rightarrow \bar{T} = 571,4$$

$$\left. \begin{array}{l} C_P = 30,253 \\ C_V = 21,939 \end{array} \right\} \rightarrow \gamma = 1,379$$

$$\rightarrow T_2 = 894,89 \text{ K} \rightarrow \bar{T} = 595,5$$

$$\left. \begin{array}{l} C_P = 30,412 \\ C_V = 22,098 \end{array} \right\} \rightarrow \gamma = 1,376$$

$$T_2 = 296,15 (18,5)^{0,376} = 887,7 \text{ K}$$

4/7

Ejercicio 2)

①

$$a) \quad \alpha_f = 8 + \frac{18}{4} = 12,5 \frac{\text{kmol } O_2}{\text{kmol } f.}$$

$$\left(\frac{\eta_2}{\eta_f}\right)_f = 4,76 \alpha_f = 59,5 \frac{\text{kmol aire}}{\text{kmol } f.}$$

$$S_f = \left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)_f = \frac{1}{59,5} = 0,01681 \frac{\text{kmol } f}{\text{kmol aire.}}$$

$$r_f = S_f \frac{PM_f}{PM_a} = \frac{114}{29} \cdot 0,01681 = 0,0661 \frac{\text{kg } f}{\text{kg } a.}$$

$$b) \quad Y_a = \frac{1}{1 + \phi S_f} = \frac{1}{1 + 0,01681} = 0,9835$$

$$f_i = \frac{Y_a P_i}{R_a T_i} = \frac{(0,9835)(98000)}{\left(\frac{8,314,472}{29}\right)(303,15)} = 1,109 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$i_{\text{mep}} = \gamma_v f_i \phi r_f Q_i \gamma_{AF} \gamma_d$$

$$i_{\text{mep}} = (0,82)(1,109)(0,0661)(44000)(0,459)(0,85)$$

$$i_{\text{mep}} = 1031,9 \text{ kPa}$$

$$f_{\text{mep}} = 57 + 15\left(\frac{N}{1000}\right) + 3,5\left(\frac{N}{1000}\right)^2 = 205 \text{ kPa}$$

$$\gamma_m = \frac{i_{\text{mep}} - f_{\text{mep}}}{i_{\text{mep}}}$$

$$\gamma_m = 0,8013$$

$$\gamma_{ti} = \gamma_{AF} \gamma_d = (0,459)(0,85) = 0,39015$$

$$\gamma_b = \gamma_{ti} \gamma_m = (0,39015)(0,8013) = 0,3126$$



5/7

b) cont.

(2)

$$sfc = \frac{1}{\gamma_b Q_v} = \frac{(3600)(1000)}{(0,3126)(44000)} = 261,7 \frac{\text{g}}{\text{KWh}}$$

$$b_{mer} = i_{mer} - f_{mer} = 1031,9 - 205 = 826,9 \text{ kPa}$$

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} L z = \frac{\pi (0,073)^2}{4} (0,068) 4 = 1,132 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P_b = b_{mer} \cdot V_d \cdot \frac{N}{2(60)} = (826,9) \left(\frac{1,132 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{120} \right) (4000) = 31,32 \text{ kW}$$

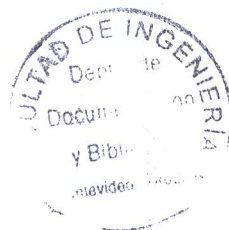
$$M_c = \frac{P_b}{(2\pi N/60)} = \frac{(31380)(60)}{2\pi(4000)} = 74,9 \text{ Nm}$$

c)

$$b_{mer_2} = b_{mer} \cdot (1 - 0,15) = 826,9 (0,85) = 702,9 \text{ kPa}$$

$$f_{mer_2} = f_{mer} = 203 \text{ kPa}$$

$$i_{mer_2} = b_{mer_2} + f_{mer_2} = 907,9 \text{ kPa}$$



$$i_{mer_2} = \gamma_v \beta_i \phi r_f Q_v^i \gamma_{AF} \gamma_d = \gamma_v \frac{\gamma_s P_i}{R_s T_i} \phi r_f Q_v^i \gamma_{AF} \gamma_d$$

$$i_{mer_2} = \gamma_v \left(\frac{1}{1 + \phi s_f} \right) \frac{P_i}{R_s T_i} \phi r_f Q_v^i \gamma_{AF} \gamma_d$$

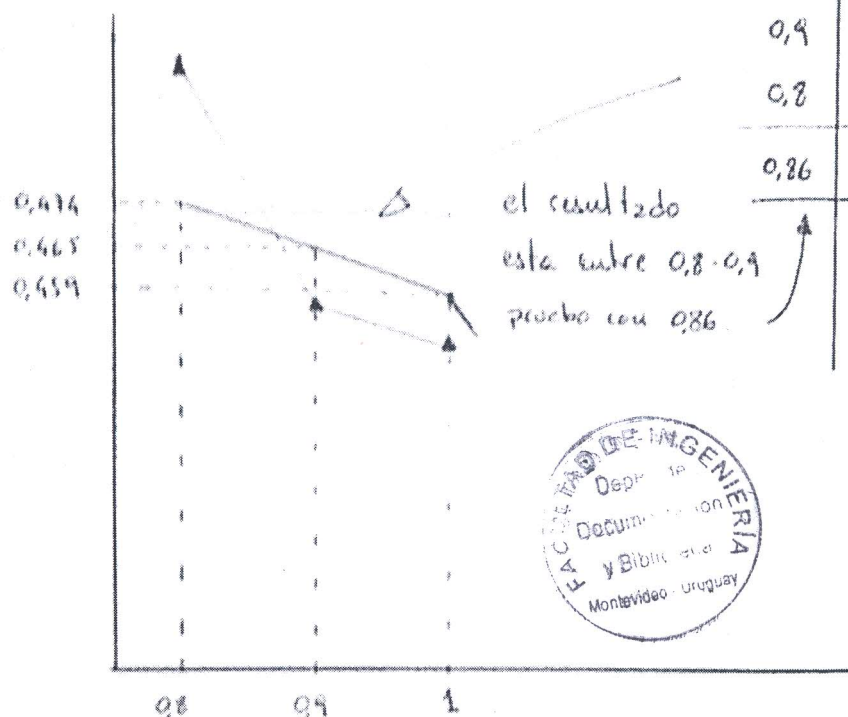
$$\frac{\phi \gamma_{AF}}{1 + \phi s_f} = \frac{i_{mer_2} R_s T_i}{\gamma_v P_i r_f Q_v^i \gamma_d} = \frac{(907,9) (226,7) (303,15)}{(0,82)(98000)(0,0661)(44000)(0,85)} = 0,3972$$

6/7

c) cont.

③

$$\gamma_{AF} = \frac{(1 + \phi \cdot 0,01681)}{\phi} (0,3912) = f(\phi)$$



ϕ	γ_{AF}	$f(\phi)$
1	0,459	0,4039
0,9	0,465	0,4480
0,8	0,474	0,5032
0,86	0,469	0,4685



$$\phi = 0,86$$

7/7