

Master Universitario en Sistemas Espaciales

PROPULSIÓN ESPACIAL Y LANZADORES

EXAMEN EXTRAORDINARIO PROBLEMAS

(Tiempo máximo 60 minutos)

NOMBRE Y APELLIDOS:

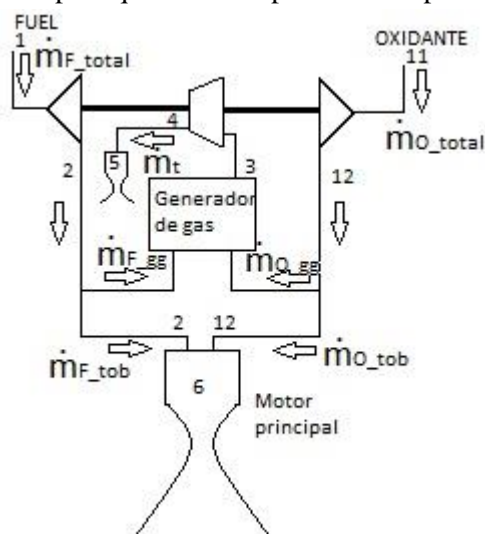
Problema 2:

Se dispone de un motor cohete químico de propulsante líquido que emplea un ciclo abierto de generador de gas como sistema de alimentación de los propulsantes. La turbina está acoplada a las dos bombas con un rendimiento mecánico (η_{mec}) de 0.94. La presión del depósito del fuel (P_1) es de 0.2 MPa, mientras que la presión del depósito del oxidante (P_{11}) es de 0.15 MPa.

Las características del sistema son las siguientes:

Presión de cámara principal	$P_6 = 60 \text{ MPa}$	Presión de cámara secundaria	$P_5 = 4 \text{ MPa}$
Pérdida de carga en el generador de gas	$\frac{P_3}{P_2} = \frac{P_3}{P_{12}} = 0.9$	Caída de presión de inyección en el motor secundario	$\frac{P_5}{P_4} = 0.85$
Rendimiento de la bomba fuel	$\eta_{bF} = 0.79$	Rendimiento de la bomba oxidante	$\eta_{bo} = 0.78$
Rendimiento de la turbina	$\eta_{turb} = 0.9$	Coefficiente de descarga fuel en cámara principal	$C_D A_{iny} F = 1.5 \text{ cm}^2$
Densidad de fuel	$\rho_F = 800 \text{ kg/m}^3$	Densidad del oxidante	$\rho_O = 1200 \text{ kg/m}^3$
Coefficiente calorífico turbina	$C_p = 800 \text{ J/(kgK)}$	Gamma turbina	$\gamma_{turb} = 1.3$
Temperatura entrada turbina	$T_{et} = 1800 \text{ K}$	Gasto másico total fuel	$\dot{m}_{F_{total}} = 27 \text{ Kg/s}$
Gasto másico fuel tobera	$\dot{m}_{F_{tob}} = 25.3 \text{ Kg/s}$	Gasto másico oxidante tobera	$\dot{m}_{O_{tob}} = 65.2 \text{ Kg/s}$
Gamma tobera principal	$\gamma_{tob_p} = 1.28$	Gamma tobera secundaria	$\gamma_{tob_s} = 1.3$
Velocidad característica tobera principal	$c^*_p = 1200 \text{ m/s}$	Velocidad característica tobera secundaria	$c^*_s = 800 \text{ m/s}$

Los gases que salen de la turbina son aprovechados para expandirlos en una tobera secundaria. Ambas toberas se han diseñado para que estén adaptadas a una presión ambiente de 101325 Pa.



Se pide:

- La presión P_2 a la salida de la bomba del fuel, la presión P_3 a la salida del generador de gas y la presión P_4 a la salida de la turbina.
- El coeficiente de descarga del oxidante en la cámara principal ($C_{DA_{iny}|O}$), para que la presión P_{12} a la salida de la bomba del oxidante coincida con la presión P_2 a la salida de la bomba del fuel.
- Los trabajos específicos de las bombas (τ_{bF} y τ_{bO}).
- La relación de expansión de la turbina (P_3/P_4) y el trabajo específico de la turbina (τ_{turb}).
- Los gastos máscicos de cada línea: \dot{m}_{O_total} , \dot{m}_{F_gg} , \dot{m}_{O_gg} y \dot{m}_t .
- Las relaciones de área de cada tobera.
- Los impulsos específicos de cada tobera y el impulso específico medio del sistema.
- El empuje de cada tobera y el empuje total del sistema.
- Las áreas de salida de cada tobera.

SOLUCION

- La presión P_2 a la salida de la bomba del fuel, la presión P_3 a la salida del generador de gas y la presión P_4 a la salida de la turbina.

$$P_{12} = P_2 = P_6 + \frac{1}{2} \frac{\dot{m}_{F_tob}^2}{\rho_F (C_{DA_{iny}|F})^2} = 77780278 \text{ Pa} = 77.78 \text{ MPa}$$

$$P_4 = P_5 \frac{1}{P_5/P_4} = 4705882 \text{ Pa} = 4.706 \text{ MPa}$$

$$P_3 = \frac{P_3}{P_2} P_2 = 70002250 \text{ Pa} = 70.002 \text{ MPa}$$

- El coeficiente de descarga del oxidante en la cámara principal ($C_{DA_{iny}|O}$).

$$C_{DA_{iny}|O} = \frac{\dot{m}_{O_tob}}{\sqrt{2\rho_O(P_{12}-P_6)}} = 0.0003156 \text{ m}^2 = 3.156 \text{ cm}^2$$

- Los trabajos específicos de las bombas (τ_{bF} y τ_{bO}).

$$\Delta P_{bF} = P_2 - P_1 = 77580278 \text{ Pa} = 77.58 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{bO} = P_{12} - P_{11} = 77630278 \text{ Pa} = 77.63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{bF} = \frac{\Delta P_{bF}}{\eta_{bF}\rho_F} = 122753.6 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}, \quad \tau_{bO} = \frac{\Delta P_{bO}}{\eta_{bO}\rho_O} = 82938.3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

- La relación de expansión de la turbina (P_3/P_4) y el trabajo específico de la turbina (τ_{turb}).

$$\text{Relación de expansión turbina: } \frac{P_3}{P_4} = 14.88$$

$$\tau_{turb} = \eta_{tur} C_P T_{et} \left[1 - \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma_{tur}-1}{\gamma_{tur}}} \right] = 600920 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

- Los gastos máscicos de cada línea: \dot{m}_{O_total} , \dot{m}_{F_gg} , \dot{m}_{O_gg} y \dot{m}_t .

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{F_tob} + \dot{m}_{O_tob} = 90.5 \text{ kg/s}$$

$$\eta_{mec} \tau_{turb} \dot{m}_t = \dot{m}_{F_total} \tau_{bF} + \dot{m}_{O_total} \tau_{bO} \Rightarrow \eta_{mec} \tau_{turb} (\dot{m}_{total} - \dot{m}_g) =$$

$$\dot{m}_{F_total} \tau_{bF} + (\dot{m}_{total} - \dot{m}_{F_total}) \tau_{bO} \Rightarrow$$

$$\dot{m}_{total} = \frac{\eta_{mec} \tau_{turb} \dot{m}_g + \dot{m}_{F_total} (\tau_{bF} - \tau_{bO})}{\eta_{mec} \tau_{turb} - \tau_{bO}} = 108.31 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_t = \dot{m}_{total} - \dot{m}_g = 17.81 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{O_total} = \dot{m}_{total} - \dot{m}_{F_total} = 81.31 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{F_gg} = \dot{m}_{F_total} - \dot{m}_{F_tob} = 1.7 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{O_gg} = \dot{m}_{O_total} - \dot{m}_{O_tob} = 16.11 \text{ kg/s}$$

f) Las relaciones de área de cada tobera.

$$\varepsilon_{prin} = \frac{A_s}{A_g} = \frac{\Gamma(\gamma)}{\left(\frac{P_s}{P_c}\right)^{1/\gamma} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_s}{P_c}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]}} = 37.08$$

$$\varepsilon_{secun} = \frac{A_s}{A_g} = \frac{\Gamma(\gamma)}{\left(\frac{P_s}{P_c}\right)^{1/\gamma} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_s}{P_c}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]}} = 6.07$$

g) Los impulsos específicos de cada tobera y el impulso específico medio del sistema.

$$C_{E_prin} = \Gamma(\gamma) \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_s}{P_c}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} = 1.74$$

$$C_{E_sec} = \Gamma(\gamma) \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_s}{P_c}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} = 1.49$$

$$I_{SP_prin} = c^*_P C_{E_prin} = 2088.8 \frac{m}{s} = 212.9 s$$

$$I_{SP_sec} = c^*_S C_{E_sec} = 1188.4 \frac{m}{s} = 121.1 s$$

$$I_{SP_med} = I_{SP_prin} - \left(I_{SP_prin} - I_{SP_sec}\right) \frac{\dot{m}_{Fgg} + \dot{m}_{Ogg}}{\dot{m}_{total}} = 1940.8 \frac{m}{s} = 197.8 s$$

h) El empuje de cada tobera y el empuje total del sistema.

$$E_P = I_{SP_prin} \dot{m}_g = 189039 N = 189.04 kN$$

$$E_S = I_{SP_sec} \dot{m}_t = 21159 N = 21.16 kN$$

$$E_{Total} = E_P + E_S = I_{SP_med} \dot{m}_{total} = 210199 N = 210.2 kN$$

i) Las áreas de salida de cada tobera.

$$A_{g_prin} = \frac{c^*_P \dot{m}_g}{P_6} = 0.00181 m^2 = 18.1 cm^2 \Rightarrow A_{s_prin} = A_{g_prin} \varepsilon_{prin} = 0.0671 m^2$$

$$A_{g_sec} = \frac{c^*_S \dot{m}_{gg}}{P_5} = 0.00356 m^2 = 35.61 cm^2 \Rightarrow A_{s_sec} = A_{g_sec} \varepsilon_{sec} = 0.0180 m^2$$