

Motores Térmicos

8° Semestre

4° ano

Aula 30. Motores de propulsão

- ▶ Motor Ramjet (Estado jacto)
- ▶ Motor Propjet
- ▶ Motor Scramjet
- ▶ Pós Combustor (Afterburner)

Problema 31.1 (I)

Suponha que é um engenheiro de aeronáutica encarregue de analisar o desempenho de um motor PropJet. O motor está instalado numa aeronave comercial e opera em diferentes altitudes e condições climáticas. A sua tarefa é calcular o empuxo gerado pelo motor em condições específicas e avaliar a sua eficiência.

Dados fornecidos:

- ▶ 1. Parâmetros do Motor:
 - ▶ - Potência máxima do motor: 4000 kW
 - ▶ - Eficiência mecânica do motor: 85%
 - ▶ - Diâmetro da hélice: 3,2 metros
 - ▶ - Número de pás da hélice: 4
 - ▶ - Coeficiente de tracção da hélice C_T : 0,085

Problema 31.1 (II)

Dados fornecidos:

- ▶ 2. Condições de Operação:
 - ▶ - Altitude de voo: 8000 metros
 - ▶ - Velocidade do ar V : 200 m/s
 - ▶ - Densidade do ar a 8000 metros ρ : 0.525 kg/m³

Perguntas, Calcule:

- ▶ 1. O Empuxo; e
- ▶ 2. A Eficiência do Motor.
 - a) Calcule a potência de saída efectiva da hélice levando em consideração a eficiência mecânica do motor.
 - b) Determine a eficiência propulsiva do motor, que é a razão entre a potência de tracção útil e a potência de entrada total.

Problema 31.1 (Resolução I)

Cálculo do Empuxo (T):

- ▶ A área varrida pela hélice A é dada por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

- ▶ Onde D é o diâmetro da hélice.
- ▶ Substituindo os valores:

$$A = \frac{\pi \cdot (3,2\text{m})^2}{4} = 8,042\text{m}^2$$

Problema 31.1 (Resolução II)

- ▶ Utiliza-se a fórmula do coeficiente de tracção para calcular o empuxo gerado pelo motor:

$$T = C_T \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A$$

$$T = 0,085 \cdot 0,525 \text{kg/m}^3 \cdot (200 \text{m/s})^2 \cdot 8,042 \text{m}^2$$

$$T = 14355,82 \quad [N]$$

Potência de saída efectiva da hélice P_{ef} :

$$P_{ef} = P_{max} \cdot \eta_{mec}$$

$$P_{ef} = 4000 \text{kW} \cdot 0,85 = 3400 \text{kW}$$

Problema 31.1 (Resolução III)

- ▶ Eficiência propulsiva η_p :

$$\eta_p = \frac{T \cdot V}{P_{max}}$$

$$\eta_p = \frac{14355,82\text{N} \cdot 200\text{m/s}}{4000\text{kW}}$$

$$\eta_p = \frac{2871164\text{W}}{4000000\text{W}} = 0,7178 \approx 71,78\%$$

Problema 31.2 (I)

Suponha que é um engenheiro aeroespacial responsável por analisar o desempenho de um motor Scramjet (Supersonic Combustion Ramjet). O motor Scramjet é utilizado em veículos hipersônicos que operam a velocidades extremamente altas. Sua tarefa é calcular o empuxo gerado pelo motor em condições específicas e avaliar a eficiência do motor.

Dados fornecidos:

- ▶ 1. Parâmetros do Motor:
 - ▶ - Velocidade de voo: Mach 7
 - ▶ - Eficiência de combustão: 98%
 - ▶ - Eficiência do bocal: 95%
 - ▶ - Área de entrada do motor A_{in} : 1,5 m²
 - ▶ - Área de saída do bocal A_{exit} : 1,2 m²

Problema 31.2 (II)

Dados fornecidos:

- ▶ 2. Condições de Operação:
 - ▶ - Altitude de voo: 25 km
 - ▶ - Temperatura do ar a 25 km: 220 K
 - ▶ - Pressão do ar a 25 km: 2,5 kPa
 - ▶ - Densidade do ar a 25 km ρ : 0,040 kg/m³
 - ▶ - Relação específica dos gases k : 1,41
 - ▶ - Constante dos gases R : 287 J/(kg·K)
- ▶ 3. Dados Adicionais:
 - ▶ - Calor liberto por kg de combustível Q_{comb} : 43 MJ/kg
 - ▶ - Taxa de consumo de combustível \dot{m} : 0,5 kg/s

Problema 31.2 (III)

Perguntas:

1. Calcule a Velocidade de Voo;
2. Calcule o Empuxo; e
3. Calcule a Eficiência Global do Motor;

Problema 31.2 (Resolução I)

1. Cálculo da Velocidade de Voo (V):

- Utiliza-se a equação da velocidade do som para calcular a velocidade de voo do

$$V = Mach \times \sqrt{k \cdot R \cdot T}$$

onde (T) é a temperatura do ar.

$$V = 7 \cdot \sqrt{1,41 \cdot 287 \cdot 220K} = 2088,6 \quad [m/s]$$

2. Cálculo do Empuxo

► - Primeiramente, calcula-se o fluxo de massa do ar :

$$\dot{m}_a = \rho \cdot A_{in} \cdot V$$

$$\dot{m}_a = 0,040 \cdot 1,5 \cdot 2088,62 = 125,317 \quad [kg/s]$$

Problema 31.2 (Resolução II)

- Calcula-se a velocidade na saída do bocal assumindo que a expansão é isotérmica e utilizando a eficiência do bocal:

$$V_{exit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \eta_{nozzle} \cdot Q_{comb} \cdot \dot{m}_f}{\dot{m}_a}}$$
$$V_{exit} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,95 \cdot 43 \times 10^6 \text{ J/kg} \cdot 2,5 \text{ kg/s}}{125,317 \text{ kg/s}}} = 1273,197 \quad [m/s]$$

2. Cálculo do Empuxo

► - Utiliza-se a equação do empuxo para calcular o empuxo gerado pelo motor Scramjet:

$$F = \dot{m}_a \cdot (V_{exit} - V) + \dot{m}_f \cdot V_{exit}$$

$$F = 125,317 \text{ kg/s} \cdot (1273,197 \text{ m/s} - 2088,622 \text{ m/s}) + 2,5 \text{ kg/s} \cdot 1273,197 \text{ m/s}$$

$$F = -99003,622$$

Problema 31.2 (Resolução III)

- A eficiência global do motor pode ser calculada como o produto da eficiência de combustão e a eficiência do bocal:

$$\eta_{global} = \eta_{comb} \cdot \eta_{nozzle}$$

$$\eta_{global} = 0,98 \cdot 0,95 \approx 0,931 = 93,1\%$$

Problema 31.3 (I)

Para um motor Ramjet com as seguintes características:

- ▶ $\pi_t=40$
- ▶ $k=1,41$
- ▶ $V_0=200$ [m/s]
- ▶ $\dot{m}_{ar}=30$ [kg/s]
- ▶ $t_{ar}= -10$ [C]
- ▶ $c_p=1005$ [J/(kg·K)]
- ▶ $P_0=101,3 \times 10^3$ [Pa]
- ▶ RAC=60
- ▶ $A_c=0,25$ [m²]
- ▶ $\eta_t=0,8$

Sabendo que a pressão de exaustão é duas vezes a pressão de admissão, calcule: O Empuxo produzido, a Velocidade de Exaustão dos Gases, o Rendimento Térmico, a o Poder Calorífico do Combustível, a Potência de Empuxo, a Eficiência de Propulsão, o Consumo Específico de Combustível por Empuxo, o Rendimento Total

Problema 31.3 (Resolução I)

Do Rendimento Térmico

$$\eta_t = 1 - \frac{T_0}{T_t} \rightarrow T_t = \frac{T_0}{\eta_t - 1}$$

$$T_t = \frac{263,2}{0,8 - 1} = 1316 \quad [K]$$

A velocidade de exaustão dos gases pode ser estimada pela equação da energia

$$V_j = \sqrt{2 \cdot c_p \cdot T_t \left(1 - \left(\frac{P_0}{P_t} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_j = \sqrt{2 \cdot 1005 \cdot 1316 \left(1 - \left(\frac{101300}{4,052 \times 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} \right)} = 1319 \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

Problema 31.3 (Resolução II)

O empuxo produzido por um motor Ramjet é dado por:

$$F = \dot{m} \cdot (V_j - V_0) + (P_e - P_0) \cdot A_e \text{ [N]}$$

$$F = 30 \cdot (1319 - 200) + (202600 - 101300) \cdot 0,25 = 58897 \text{ [N]}$$

A potência de empuxo calcula-se de:

$$P_u = F \cdot V_j$$

$$P_u = 58897 \text{ [N]} \cdot 1319 \text{ [m/s]}$$

$$P_u = 7,769 \times 10^7 \text{ [W]}$$

A potência térmica calcula-se de :

$$P_t = \dot{m}_f \cdot Q_i$$

$$P_t = 0,5 \text{ [kg/s]} \cdot Q_i$$

Problema 31.3 (Resolução III)

Do Rendimento Térmico

$$\eta_t = \frac{P_u}{P_t} \rightarrow P_t = \frac{P_u}{\eta_t}$$

$$\dot{m}_f \cdot Q_i = \frac{P_u}{\eta_t}$$

$$Q_i = \frac{P_u}{\eta_t \cdot \dot{m}_f}$$

$$Q_i = \frac{7,769 \times 10^7 \text{ [W]}}{0,8 \cdot 0,5 \text{ [kg/s]} \cdot 1000} = 194221 \text{ [kJ/kg]}$$

A Eficiência da Propulsão

$$\eta_p = \frac{2}{1 + \frac{V_j}{V_0}}$$

$$\eta_p = \frac{2}{1 + \frac{1319 \text{ [m/s]}}{200 \text{ [m/s]}}} = 0,2633$$

Problema 31.3 (Resolução IV)

O Consumo Específico determina-se de:

$$TSFC = \frac{\dot{m}_f}{F}$$

$$TSFC = \frac{0,5 \text{ [kg/s]}}{58897 \text{ [N]}} = 0,000008489 \text{ [(kg/s)/N]}$$

A Eficiencia Total

$$\eta_{Tot} = \eta_p \cdot \eta_t$$

$$\eta_{Tot} = 0,2633 \cdot 0,8 = 0,2107$$

$$\eta_{Tot} = 21,07\%$$