

Análise Termodinâmica de Bomba de Água

Modelo Simplificado com Eficiência Isoentrópica e Mecânica

25 de novembro de 2025

Resumo

Este documento resume os dois cenários de cálculo implementados no modelo de bomba de água simples, que utiliza a biblioteca CoolProp para determinar as propriedades termodinâmicas e as eficiências isoentrópica (η_{is}) e mecânica (η_m) para calcular o estado desconhecido (Entrada ou Saída) e a potência de eixo requerida.

1 Introdução e Variáveis

O modelo se baseia no princípio da conservação de energia (Primeira Lei da Termodinâmica) para um volume de controle, onde o trabalho de compressão é realizado. A biblioteca CoolProp é utilizada para determinar Entalpia (h) e Entropia (s) da substância Água (Water), assumindo Pressão em kPa e Temperatura em °C na entrada.

1.1 Variáveis de Entrada Comuns

A Tabela 1 lista as variáveis de entrada obrigatórias para o cálculo da potência.

Tabela 1: Variáveis de Entrada do Modelo

Variável	Descrição	Unidade
\dot{m}	Vazão Mássica do fluido.	kg/s
η_{is}	Eficiência Isoentrópica (perdas termodinâmicas).	Adimensional
η_m	Eficiência Mecânica (perdas por atrito no eixo).	Adimensional

1.2 Uso do CoolProp

A entalpia e a entropia são calculadas a partir de dois estados termodinâmicos independentes (Pressão e Temperatura ou Pressão e Entropia). Por exemplo:

$$h = \text{CoolProp}(\mathbf{P}, \mathbf{T})$$

$$s = \text{CoolProp}(\mathbf{P}, \mathbf{T})$$

2 Cenário 1: Entrada da Bomba (Estado 1) Conhecida

O modelo calcula as propriedades de saída real (P_2, T_2, h_2) e a potência de eixo (\dot{W}_{eixo}). O processo isoentrópico de referência ocorre entre o estado de entrada 1 e o estado de saída ideal 2s ($s_1 = s_{2s}$).

2.1 Propriedades Conhecidas

- P_1 (Pressão de Entrada) e T_1 (Temperatura de Entrada).
- P_2 (Pressão de Saída Alvo).

2.2 Fórmulas de Cálculo

1. **Cálculo de h_1 e s_1 (Estado 1):**

$$h_1 = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_1, \mathbf{T}_1)$$

$$s_1 = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_1, \mathbf{T}_1)$$

2. **Cálculo de h_{2s} (Estado Isoentrópico 2s):**

$$h_{2s} = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_2, \mathbf{s}_1)$$

3. **Trabalho Isoentrópico por Massa (\dot{w}_{is}):**

$$\dot{w}_{is} = h_{2s} - h_1$$

4. **Trabalho Real por Massa (\dot{w}_{real}):**

$$\dot{w}_{real} = \frac{\dot{w}_{is}}{\eta_{is}} = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{is}}$$

5. **Entalpia de Saída Real (h_2):**

$$h_2 = h_1 + \dot{w}_{real}$$

6. **Temperatura de Saída Real (T_2):**

$$T_2 = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_2, \mathbf{h}_2)$$

3 Cenário 2: Saída da Bomba (Estado 2) Conhecida

O modelo calcula as propriedades de entrada real (P_1, T_1, h_1) e a potência de eixo (\dot{W}_{eixo}). Este cenário é calculado utilizando a aproximação de líquido incompressível para o trabalho.

3.1 Propriedades Conhecidas

- P_2 (Pressão de Saída) e T_2 (Temperatura de Saída).
- P_1 (Pressão de Entrada Alvo).

3.2 Fórmulas de Cálculo

1. **Cálculo de h_2 e ρ_2 (Estado 2):**

$$h_2 = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_2, \mathbf{T}_2)$$

$$\rho_2 = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_2, \mathbf{T}_2) \quad (\text{Densidade})$$

2. **Trabalho Isoentrópico (\dot{w}_{is}) - Aproximação Incompressível:** Assumindo líquido sub-resfriado, \dot{w}_{is} é aproximado por $v \cdot \Delta P$.

$$\dot{w}_{is} \approx \frac{P_2 - P_1}{\rho_2} \quad [\text{kJ/kg}]$$

3. Trabalho Real por Massa (\dot{w}_{real}):

$$\dot{w}_{\text{real}} = \frac{\dot{w}_{is}}{\eta_{is}}$$

4. Entalpia de Entrada Real (h_1):

$$h_1 = h_2 - \dot{w}_{\text{real}}$$

5. Temperatura de Entrada Real (T_1):

$$T_1 = \text{CoolProp}(\mathbf{P}_1, \mathbf{h}_1)$$

4 Cálculo Final da Potência (Comum a Ambos os Cenários)

O cálculo do trabalho real e a aplicação da eficiência mecânica são os passos finais para determinar a potência de eixo que o motor deve fornecer.

1. Potência Transferida ao Fluido (\dot{W}_{fluido}):

$$\dot{W}_{\text{fluido}} = \dot{m} \cdot \dot{w}_{\text{real}}$$

2. Potência de Eixo Requerida (\dot{W}_{eixo}):

$$\dot{W}_{\text{eixo}} = \frac{\dot{W}_{\text{fluido}}}{\eta_m}$$

3. Eficiência Total (η_{total}):

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{is} \cdot \eta_m$$