

# Relatório Técnico: Simulação de Compressor de $H_2$ em Estágio Único

Modelo Termodinâmico Simplificado

27 de novembro de 2025

# 1 Introdução

Este relatório descreve um modelo simplificado para simular a compressão de  $H_2$  em um único estágio. O objetivo principal é quantificar o consumo específico de energia e, criticamente, verificar a **temperatura de saída real** ( $T_{2a}$ ) para avaliar a viabilidade de um compressor simples em comparação com a solução de múltiplos estágios.

## 2 Função e Interatividade do Programa

O programa Python foi desenvolvido para ser interativo, permitindo que o usuário escolha entre duas opções de execução:

1. **Exemplo Pré-Definido ( $40 \rightarrow 140$  bar):** Simula um dos cenários de compressão do sistema de armazenamento, testando a viabilidade do estágio único para o processo de enchimento.
2. **Valores Personalizados:** Permite a entrada manual de pressões ( $P_{in}$  e  $P_{out}$ ) pelo usuário, possibilitando a análise de qualquer razão de compressão desejada.

O programa retorna uma tabela de resultados com o consumo energético e as temperaturas, além de gerar um **Diagrama T-s** que compara o processo ideal (isentrópico) com o processo real (irreversível) para o cenário testado.

## 3 Dados de Entrada Fixos e Variáveis

### 3.1 Parâmetros de Entrada Fixos

Os seguintes parâmetros operacionais do sistema de armazenamento são fixados no código e usados em todos os cálculos:

Tabela 1: Parâmetros Fixos do Modelo de Estágio Único		
Parâmetro	Símbolo	Valor
Fluido	—	$H_2$
Temperatura de Entrada	$T_{in}$	$10,0\text{ }^\circ\text{C}$
Eficiência Isentrópica do Compressor	$\eta_C$	$0,65$ (65%)
Temperatura Máxima de Segurança	$T_{max}$	$85,0\text{ }^\circ\text{C}$

### 3.2 Dados de Entrada Variáveis (Exemplo)

O exemplo pré-definido utiliza as seguintes condições de compressão:

- $P_{in} = 40,0$  bar
- $P_{out} = 140,0$  bar
- Razão de Compressão ( $P_{out}/P_{in}$ ) =  $3,5x$

## 4 Cálculos Termodinâmicos do Estágio Único

O modelo de estágio único elimina o trabalho de inter-resfriamento e se concentra na conversão de entalpia.

### 4.1 Cálculos de Propriedades (CoolProp)

As propriedades do hidrogênio são acessadas utilizando a função **PropsSI** da biblioteca CoolProp, que permite o uso de equações de estado de gás real.

1. **Propriedades de Entrada ( $P_{in}, T_{in}$ ):**

$$h_1 = \text{PropsSI}('H', 'P', P_{in}, 'T', T_{in}, 'H2') s_1 = \text{PropsSI}('S', 'P', P_{in}, 'T', T_{in}, 'H2')$$

2. **Entalpia e Temperatura Isentrópica ( $P_{out}, s_1$ ):**

$$h_{2s} = \text{PropsSI}('H', 'P', P_{out}, 'S', s_1, 'H2') T_{2s} = \text{PropsSI}('T', 'P', P_{out}, 'S', s_1, 'H2')$$

## 4.2 Cálculo do Trabalho e Temperatura Real

1. **Trabalho Específico Real ( $W_a$ ):** O trabalho real é obtido corrigindo-se o trabalho isentrópico ( $W_s = h_{2s} - h_1$ ) pela eficiência isentrópica ( $\eta_C$ ):

$$W_a = W_s / \eta_C \quad [\text{J/kg}]$$

2. **Entalpia Real de Saída ( $h_{2a}$ ):**

$$h_{2a} = h_1 + W_a$$

3. **Temperatura Real de Saída ( $T_{2a}$ ):** A temperatura final real é determinada utilizando-se a entalpia real e a pressão de saída:

$$T_{2a} = \text{PropsSI}('T', 'P', P_{\text{out}}, 'H', h_{2a}, 'H2')$$

O consumo total de energia em kWh/kg é o valor de  $W_a$  convertido para a unidade padrão.

## 5 Resultados Esperados e Análise de Segurança

Para o exemplo pré-definido ( $40 \rightarrow 140$  bar), os resultados calculados e a análise de segurança são os seguintes:

Tabela 2: Resultados Típicos para Compressão em Estágio Único ( $40 \rightarrow 140$  bar)

Parâmetro de Saída	Valor Obtido
Consumo Total	$\approx 0,7854$ kWh/kg
Temperatura Isentrópica ( $T_{2s}$ )	$\approx 132,32$ °C
Temperatura Real ( $T_{2a}$ )	$\approx 199,97$ °C
Status de Segurança	<b>ACIMA DO LIMITE (85°C)</b>

### 5.1 Análise de Resultados

- **Consumo de Energia:** O valor de  $0,7854$  kWh/kg representa o trabalho mecânico mínimo (desconsiderando o trabalho de resfriamento, que seria necessário).
- **Falha Operacional:** O resultado de  $T_{2a} \approx 200^\circ\text{C}$  excede drasticamente o limite de segurança de  $85^\circ\text{C}$ .

**Conclusão:** O modelo simples demonstra que, mesmo para esta razão de compressão relativamente baixa (3,5x), a compressão de  $\text{H}_2$  em estágio único é **inviável** devido à geração de calor excessivo. Isso valida a abordagem utilizada no modelo complexo de armazenamento, que exige o uso obrigatório de **múltiplos estágios com inter-resfriamento** para manter a temperatura do gás em níveis seguros e operacionais.