

Relatório Técnico: Otimização do Resfriamento de Gases de Eletrólise (O_2/H_2)

Modelo de Simulação de Chiller

28 de novembro de 2025

Resumo

Este relatório detalha a estratégia de eficiência energética utilizando um Dry Cooler (pré-resfriamento) em série com um Chiller para resfriamento de gases de eletrólise (O_2 e H_2). O foco principal é explicar a estrutura e os cálculos de um modelo Python simplificado, que se concentra no cálculo da capacidade (\dot{Q}) e do consumo energético do Chiller, crucial para a etapa final de condensação e secagem dos gases.

1 O Benefício da Combinação Dry Cooler e Chiller

A utilização de um **Dry Cooler** antes do **Chiller** é uma estratégia de eficiência energética comum, visando minimizar a carga térmica que chega ao equipamento mais intensivo em energia.

1.1 O Papel do Dry Cooler (Pré-resfriamento)

O Dry Cooler, um trocador de calor a ar, utiliza o ar ambiente e ventiladores para resfriar o fluxo de gás (40°C) até uma temperatura próxima à temperatura de bulbo seco do ar ambiente (e.g., 25°C).

- **Vantagem Energética:** O consumo de energia é baixo (limitado aos ventiladores), removendo a maior parte da **Carga Térmica Sensível** de forma mais econômica.
- **Cálculo de Carga Removida:** $\dot{Q}_{DC} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{DC_out})$.

1.2 O Papel do Chiller (Resfriamento Final)

O Chiller, que utiliza um ciclo de refrigeração, assume o resfriamento a partir da temperatura alcançada pelo Dry Cooler.

- **Função Principal:** Resfriar o gás pré-resfriado (T_{DC_out}) até a temperatura de destino de 4°C .
- **Objetivo do 4°C :** Este ponto é crucial para condensar e remover eficientemente o vapor d'água residual do fluxo, garantindo a **secagem** antes do Knock-Out Tank.
- **Vantagem Operacional:** A Carga Térmica ($\dot{Q}_{CHILLER}$) é drasticamente **reduzida**, permitindo o uso de um chiller menor e aumentando seu Coeficiente de Performance (**COP**).

2 Modelo de Cálculo do Chiller e Seus Parâmetros

O modelo visa determinar a capacidade do Chiller e seu consumo de energia com base nas condições de entrada após o pré-resfriamento.

2.1 Dados de Entrada

Os parâmetros essenciais para a modelagem do Chiller são:

- **Gás Específico:** O₂ ou H₂ (Define o Calor Específico, C_p).
- **Vazão Mássica (\dot{m}):** Quantidade de gás a ser resfriada (kg/s).
- **Temperatura de Entrada (T_{DC_out}):** Temperatura do gás após o Dry Cooler.
- **Temperatura de Saída (T_{out}):** Temperatura final desejada (4°C).
- **COP do Chiller:** Eficiência operacional.
- **Queda de Pressão Estimada (ΔP):** Estimativa da perda de pressão no trocador (bar).

2.2 Cálculos Utilizados

Os cálculos termodinâmicos primários são:

Carga Térmica do Chiller ($\dot{Q}_{CHILLER}$)

Calcula a capacidade de refrigeração necessária:

$$\dot{Q}_{CHILLER} = \dot{m} \cdot C_p^{avg} \cdot (T_{DC_out} - T_{out})$$

Consumo Energético ($\dot{W}_{eletrico}$)

Calcula o consumo de energia elétrica com base na eficiência do equipamento:

$$\dot{W}_{eletrico} = \frac{\dot{Q}_{CHILLER}}{COP_{CHILLER}}$$

Vazão do Fluido Secundário (\dot{m}_{sec})

Calcula a vazão mássica do fluido que fará a troca de calor (e.g., água/glicol), essencial para o dimensionamento do sistema de circulação:

$$\dot{m}_{sec} = \frac{\dot{Q}_{CHILLER}}{C_{p,sec} \cdot \Delta T_{sec}}$$

2.3 Dados de Saída

Os resultados do modelo fornecem os parâmetros-chave para o dimensionamento e análise operacional:

- **Estado do Fluxo:** Pressão e temperatura de saída (P_{out} e T_{out}).
- **Consumo Chiller:** Potência elétrica consumida ($\dot{W}_{eletrico}$).
- **Fluxos de Troca:** Vazão mássica do fluido secundário (\dot{m}_{sec}).

3 Consideração da Perda de Pressão (ΔP)

A queda de pressão (ΔP) ao longo do trocador de calor do chiller é uma restrição de projeto.

- **Relevância:** Para o cálculo da carga térmica, a ΔP tem um efeito **insignificante** devido à alta pressão absoluta (40 bar).
- **Função no Modelo:** A ΔP é tratada como um **dado de entrada** ('Delta_P_estimado'), que é subtraído da pressão de entrada para determinar a pressão de saída (P_{out}), crucial para o processo a jusante (Knock-Out Tank).
- **Fase de Projeto:** O valor preciso da ΔP só é determinado na fase de dimensionamento detalhado do trocador de calor (geometria, vazão e fator de atrito).