

Relatório Técnico de Dimensionamento de Dry Cooler

Eletrolisador PEM com Gás Úmido e Fluxo Bifásico

Gerado por Gemini AI, com dados de simulação do usuário

4 de dezembro de 2025

Resumo

Este relatório detalha o dimensionamento preliminar (projeto) de dois trocadores de calor do tipo Dry Cooler para o resfriamento dos fluxos de Hidrogênio (H_2) e Oxigênio (O_2) provenientes de um eletrolisador PEM. O dimensionamento considera o pior cenário (temperatura ambiente de $32^\circ C$) e a presença de vapor e água líquida acompanhante nos fluxos de gás, o que eleva significativamente a carga térmica devido ao calor latente e sensível da água.

Conteúdo

1 Introdução

O objetivo deste dimensionamento é determinar a **Área Mínima de Troca de Calor** (A) e a **Potência Máxima do Ventilador** (W_{fan}) necessárias para resfriar os fluxos de H_2 e O_2 de $80^\circ C$ (entrada) para $40^\circ C$ (meta de saída) no ponto de projeto de pior caso. A metodologia utilizada é baseada na abordagem da Diferença de Temperatura Média Logarítmica Corrigida (LMTD, do inglês *Log Mean Temperature Difference*).

2 Dados de Entrada e Variáveis de Projeto

Os parâmetros de entrada foram definidos para o **pior cenário** operacional do Dry Cooler. As vazões mássicas são baseadas em dados detalhados fornecidos pelo usuário, que incluem o gás principal, o vapor de água (diferença entre a mistura e o gás principal) e a água líquida extra acompanhante.

2.1 Parâmetros de Projeto Fixos

Parâmetro	Símbolo	Valor
Temperatura Entrada Gás (Projeto)	$T_{g,in}$	$80^\circ C$
Temperatura Saída Gás (Meta)	$T_{g,out}$	$40^\circ C$
Temperatura Entrada Ar (Pior Caso)	$T_{a,in}$	$32^\circ C$
Pressão de Operação do Gás	P_g	40 bar
Coeficiente Global de Troca de Calor (Estimado)	U	$35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot K)$
Queda de Pressão do Ar (Estimada)	ΔP_a	500 Pa
Eficiência do Ventilador (Estimada)	η_{fan}	0,65
Fator de Correção da LMTD	F	0,85

2.2 Vazões Mássicas Fornecidas

As vazões foram utilizadas diretamente para o cálculo da carga térmica total (\dot{Q}_{total}).

Fluxo	Vazão Gás Principal (kg s^{-1})	Vazão Água Líquida Acomp. (kg h^{-1})
Hidrogênio (H_2)	$\dot{m}_{H_2,princ} = 0,024\,72$	$\dot{m}_{H_2O,liq,H_2} = 1\,782,00$
Oxigênio (O_2)	$\dot{m}_{O_2,princ} = 0,197\,76$	$\dot{m}_{H_2O,liq,O_2} = 247\,408,00$

3 Metodologia de Cálculo

3.1 Carga Térmica Total (\dot{Q}_{total})

A carga térmica foi calculada de forma conservadora, somando o resfriamento sensível dos gases e da água, mais o calor latente de condensação da água que entra como vapor.

1. Resfriamento Sensível do Gás Principal:

$$\dot{Q}_{sensvel,gs} = \dot{m}_{gs,princ} \cdot c_{p,gs,princ} \cdot (T_{g,in} - T_{g,out})$$

2. **Carga Latente de Condensação:** A vazão de vapor de água ($\dot{m}_{H_2O,vap}$) é dada pela diferença $\dot{m}_{mistura} - \dot{m}_{gs,princ}$.

$$\dot{Q}_{latente,condensao} = \dot{m}_{H_2O,vap} \cdot h_{fg}$$

Onde h_{fg} (*Calor Latente de Vaporização*) foi assumido como 2 393 000 J/kg.

3. **Resfriamento Sensível da Água Líquida Total:** Considera-se que toda a água ($\dot{m}_{H_2O,total} = \dot{m}_{H_2O,vap} + \dot{m}_{H_2O,lq,acom}$) é resfriada como líquido de $T_{g,in}$ para $T_{g,out}$.

$$\dot{Q}_{sensvel,liquido,final} = \dot{m}_{H_2O,total} \cdot c_{p,H_2O,lq} \cdot (T_{g,in} - T_{g,out})$$

A Carga Térmica Total é dada por:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{sensvel,gs} + \dot{Q}_{latente,condensao} + \dot{Q}_{sensvel,liquido,final}$$

3.2 Cálculo da LMTD Corrigida

A LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) é calculada assumindo o resfriamento do ar com $\Delta T_a = 20$ K (ponto de projeto) para encontrar $T_{a,out}$.

1. **Temperatura de Saída do Ar ($T_{a,out}$):** O \dot{Q}_{total} é usado para dimensionar a vazão de ar ($\dot{m}_{a,design}$).

$$\dot{m}_{a,design} = \frac{\dot{Q}_{total}}{c_{p,a} \cdot \Delta T_{a,proj}}$$

$$T_{a,out} = T_{a,in} + \frac{\dot{Q}_{total}}{\dot{m}_{a,design} \cdot c_{p,a}}$$

2. **LMTD Corrigida (ΔT_{lm}):**

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{(T_{g,in} - T_{a,out}) - (T_{g,out} - T_{a,in})}{\ln \left(\frac{T_{g,in} - T_{a,out}}{T_{g,out} - T_{a,in}} \right)}$$

3.3 Área Mínima de Troca de Calor (A)

A área necessária é calculada a partir da equação fundamental da troca de calor.

$$A = \frac{\dot{Q}_{total}}{U \cdot \Delta T_{lm}}$$

3.4 Potência Máxima do Ventilador (W_{fan} W_{fan})

A potência do ventilador é calculada usando o volume de ar ($\dot{V}_a = \dot{m}_{a,design} / \rho_a$) e a queda de pressão do ar estimada.

$$W_{fan} = \frac{\dot{V}_a \cdot \Delta P_a}{\eta_{fan}}$$